Oec. 632 h

(VIII. i.)

Die Forst- und Jagdwissenschaft nach allen ihren Theilen

für

angehende und ausübende Forstmänner und Jäger.

Ausgearbeitet von einer Gesellschaft

und

ehemals herausgegeben

von

Dr. Johann Matthäus Bechstein

nun aber fortgesetzt

von

C. P. Laurop.

Achter Theil.

Erster Band

die Physik und Mechanik.

Mit eilf Kupfertafeln.

Erfurt und Gotha, 1824.
In der Hennings'schen Buchhandlung.

Joh. Jos. Ign. Hoffmann's,

Königlich-Baierischen Hofrathes, Direktors des Königl. Lyceums zu Aschaffenburg, Professors der Mathematik und Physik am Königl. Lyceum, ersten Professors an dem Königl. Forstlehrinstitute, Mitgliedes der Wetterauischen Gesellschaft für die gesammte Naturkunde, der Kaiserlich-Leopoldinisch-Karolinischen Akademie der Naturforscher zu Bonn und der Senkenbergischen naturforschenden Gesellschaft zu Frankfurt a. M

Physik und Mechanik

für

angehende und ausübende Forstmänner, Kameralisten und Oekonomen.

Erste Abtheilung,

welche die Lehre von der Materie überhaupt, von festen, liquiden und luftförmigen Körpern, die allgemeine Bewegungslehre nebst der Statik und Mechanik enthält.

Mit eilf Kupfertafeln.

Erfurt und Gotha, 1824.
In der Henning's'schen Buchhandlung.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Vorerinnerung.

Der Verfasser nachfolgender Schrift wurde vom Herrn Oberforstrathe Laurop, als Herausgeber des Bechsteinischen Werkes (die Forst- und Jagdwissenschaft nach allen ihren Theilen, für angehende und ausübende Forstmänner und Jäger) zur Bearbeitung der Physik und Mechanik, als Bestandtheil dieses Werks, aufgefordert.

Dieser Einladung zu Folge, habe ich mich bemüht, die Elementarlehren der allgemeinen Physik — d. h. des Materiellen überhaupt, der festen, liquiden und luftförmigen Stoffe — sodann der reinen Bewegungslehre, der Statik und Mechanik, gründlich und so faßlich vorzutragen: daß jeder Leser, welcher mit der gewöhnlichen Arithmetik und Geometrie vertraut ist, diesem Leitfaden ohne Schwierigkeit folgen wird.

Da diese Schrift die Belehrung der Anfänger zum Zwecke hat, so suchte ich Theorie und Praxis dergestalt zu verbinden, daß beide im möglichsten Einklange erscheinen. Darum ist die Darstellung meist eine theoretisch-praktische, welche dem wissenschaftlichen Streben des Geistes und dem Bedürfnisse des Lebens

in gleichem Maaße zu entsprechen sucht. Hierin liegt auch der Grund, daß bei mancher Lehre, z. B. bei jener von den Haarröhrchen, der populäre Vortrag dem schwierigern, welcher die Gesetze der Erscheinungen nicht andeutet, sondern ihre Gründe durch tiefere Theorie entwickelt, vorgezogen worden ist. Hat der Leser, durch besonnenes Studium dieser Schrift, sich ihren Inhalt angeeignet: so wird es ihm leicht seyn, mit Beihülfe größerer Werke, den Kreis seiner Kenntnisse zu erweitern, und dieselben, wo es nöthig scheint, schärfer zu begründen.

Obgleich der Anfänger, unter Leitung eines sachkundigen Lehrers nachfolgende Schrift bequemer und schneller durchwandern wird, so kann sie auch zum Selbststudium ein sicherer Leitfaden seyn; da ihre Lehren nicht aphoristisch, sondern meist mit gehöriger Ausführlichkeit dargestellt sind.

Die zweite Abtheilung dieses Theils wird unter der Aufschrift: „Besondere Physik" die Erscheinungen und Gesetze der Wärme, einen allgemeinen Abriß der Lehre von der chemischen Verwandtschaft, die Lehre von den Dämpfen und Gasen, und dann die Gesetze der Elektricität, des Galvanismus und des Magnetismus enthalten.

Aschaffenburg, im September 1823.

Joh. Jos. Ign. Hoffmann.

Uebersicht der Schrift.

Erstes Buch.

Die allgemeine Physik.

Erstes Kapitel.

Einleitung in das Studium der Naturwissenschaft.

Seite

§. 1. Begriff und Theile der Naturwissenschaft = 3
§. 2. Methode der Naturwissenschaft = = 6
§. 3. Die Hülfslehren der Naturwissenschaft und die Newtonischen Regeln = = = 11
§. 4. Etwas von dem Nutzen der Naturwissenschaft = = = = = = 14
§. 5. Etwas über die Geschichte der Naturwissenschaft = = = = = 16
§. 6. Verzeichniß einiger zur Naturwissenschaft gehörigen Schriften. = = = = 19

Zweites Kapitel.

Allgemeine Grundbegriffe und Grundlehren von dem Körperlichen überhaupt.

		Seite
§. 1.	Das Körperliche überhaupt. Der mathematische und physische Körper = =	28
§. 2.	Die dynamische und atomistische Ansicht der Natur = = = = = =	29
§. 3.	Allgemeine Eigenschaften der Materie: Undurchdringlichkeit, Ausdehnung, Theilbarkeit, Beweglichkeit und Schwere = =	33
§. 4.	Begriff der Dichtheit und ihrer Verhältnisse; Porosität der Körper = = = =	38
§. 5.	Uebersicht des Aggregatzustandes der sämmtlichen Naturkörper = = = =	42

Drittes Kapitel.

Erscheinungen der Festigkeit, der Kristallisation und der Adhäsion.

§. 1.	Festigkeit der Körper und ihre Bestimmung	48
§. 2.	Kurze Darstellung der Lehre von der Kristallisation = = = = =	50
§. 3.	Erscheinungen und Gesetze der Adhäsion =	54
§. 4.	Kurze Uebersicht der Lehre von den Haarröhrchen. = = = = =	59

Viertes Kapitel.

Von den Erscheinungen der liquiden Körper überhaupt und in ihrem Verhältnisse mit festen.

§. 1.	Vom Drucke liquider Körper überhaupt, und von ihrem Drucke auf die Grundfläche der Gefäße = = = = = =	64

Seite

§. 2. Einige Anwendungen von dem Drucke liquider Körper auf die Grundflächen ihrer Gefäße = = = = = = 70
§. 3. Bestimmung des Seitendruckes liquider Körper, nebst Anwendungen davon = = 72
§. 4. Hydrostatisches Verhältniß verschiedenartiger Körper unter sich, und der festen Körper gegen liquide, worin sie eingetaucht werden = = = = = = 75
§. 5. Von den Erscheinungen des Schwimmens auf liquiden Körpern und in denselben 79
§. 6. Methoden das specifische Gewicht der liquiden und festen Körper zu bestimmen = 84
§. 7. Begriff, Einrichtung und Gebrauch der Aräometrie. Tabelle über die specifischen Gewichte mehrerer Naturkörper. = = 88

Fünftes Kapitel.

Von den Erscheinungen der atmosphärischen Luft und ihren Gesetzen.

§. 1. Physische Eigenschaften der atmosphärischen Luft. Der torricellische Versuch, und Folgerungen hieraus = = = = 93
§. 2. Anwendungen von dem bewiesenen Luftdrucke auf bekannte Erscheinungen = 96
§. 3. Der Barometer, dessen Einrichtung, Gebrauch und Nutzen = = = = = 99
§. 4. Bestimmung des Maaßes der Expansivkraft der Luft. Das mariottische Gesetz nebst Anwendungen = = = = = 104
§. 5. Einrichtung, Theorie und Gebrauch der Wasserpumpen und Wasserspritzen = 112
§. 6. Beschreibung der Luftpumpen mit Hahn und mit Ventil. Ihre Wirkungen und gegenseitige Vorzüge = = = = 116

Seite
§. 7. Angabe lehrreicher Versuche durch Hülfe der Luftpumpe 120
§. 8. Einrichtung der Kompressionspumpe, der Windbüchse und des Elaterometers . 125
§. 9. Specifisches Gewicht der atmosphärischen Luft, nebst Anwendungen davon. Kurze Geschichte des Luftschiffs. . . . 129
§. 10. Uebergang zur Lehre vom Schalle. Vom Schalle überhaupt. Bedingungen der Tonhöhe und Tontiefe 136
§. 11. Die Schwingungsknoten und die Klangfiguren 140
§. 12. Die Fortpflanzung der Schallvibrationen durch die Luft und durch feste Körper . 143
§. 13. Die Reflexion des Schalles, nebst Anwendungen davon auf das Echo, Sprachrohr und Hörrohr. Kurze Beschreibung des Ohres. 148

Zweites Buch.

Die allgemeine Bewegungslehre.

Erstes Kapitel.

Einleitung.

§. 1. Begriff der Mathematik. Uebersicht der Theile der reinen Mathesis . . 157
§. 2. Uebersicht der Haupttheile der angewandten Mathematik. 160

Seite

Zweites Kapitel.

Allgemeine Vorbegriffe und Vorderſätze von der Bewegung überhaupt.

§. 1. Bewegung und Ruhe. Geſchwindigkeit und ihre Geſetze = = = = = 165
§. 2. Gleichförmige und ungleichförmige Bewegung und ihre Arten. Begriff der Kraft. = 167

Drittes Kapitel.

Begriffe und Geſetze der einfachen Bewegung.

§. 1. Reſultate der Wirkung einer einzigen Kraft 168
§. 2. Die Lehre vom freien Falle der Körper. = 173

Viertes Kapitel.

Begriffe und Geſetze der zuſammengeſetzten Bewegung.

§. 1. Entwickelung der Fälle, welche bei der Zuſammenwirkung zweier Kräfte ſtatt finden, nebſt Anwendungen davon = = 177
§. 2. Auflöſung der Kräfte, und fernere Folgerungen aus ihrer Zuſammenwirkung = = 181
§. 3. Kurze Darſtellung der Lehre von der Wurfbewegung. = = = = = 184

Fünftes Kapitel.

Geſetze der Centralbewegung überhaupt und der kreisförmigen insbeſondere.

§. 1. Vorbegriffe. Allgemeines Geſetz der Centralbewegung. Entſtehung der Kreisbewegung = = = = = = 187

Seite

§. 2. Möglichkeit anderer Bahnen. Gleichförmigkeit und Ungleichförmigkeit der Bewegungen = = = = = = 191
§. 3. Die wichtigsten Sätze von den kreisförmigen Centralbewegungen. = = = 193

Sechstes Kapitel.

Von der bewegenden Kraft, und vom Stoße der Körper.

§. 1. Begriffe und Gesetze der bewegenden Kraft, nebst Anwendungen davon = = = 199
§. 2. Die wichtigsten Gesetze vom Stoße harter Körper = = = = = = 202
§. 3. Die wichtigsten Gesetze vom Stoße elastischer Körper. = = = = = 206

Siebentes Kapitel.

Die Lehre vom Schwerpunkte.

§. 1. Begriff des Schwerpunkts. Gesetz des festen Standes der Körper = = = 218
§. 2. Einige Anwendungen von der Lehre vom Schwerpunkte = = = = = 221
§. 3. Bestimmung des Schwerpunkts geometrischer Linien, Flächen und Körper. = 224

Achtes Kapitel.

Fall der Körper auf schiefen Ebenen.

§. 1. Vorbegriffe und allgemeines Gesetz der Verminderung der Schwere, nebst Folgerungen 227

Seite

§. 2. Bestimmung der Endgeschwindigkeit und der Fallzeit, nebst Anwendungen davon. = 231

Neuntes Kapitel.

Die Lehre von den Bewegungsgesetzen des Pendels.

§. 1. Vorbegriffe und allgemeinste Gesetze der Pendelschwingungen = = = = 236
§. 2. Vom zusammengesetzten Pendel und vom Schwingungspunkte = = = = 245
§. 3. Begriff und Bestimmung des Sekundenpendels, nebst Anwendungen der Pendellehre. 249

Drittes Buch.

Die Statik und Mechanik.

Erstes Kapitel.

Vom einfachen und zusammengesetzten, mathematischen und physischen Hebel.

§. 1. Begriff und Arten des Hebels. Gesetz des Gleichgewichts an demselben = = 257
§. 2. Mancherlei Anwendungen des statischen Grundgesetzes = = = = = 264
§. 3. Fernere Anwendungen des statischen Grundgesetzes auf den physischen Hebel, und auf einige zusammengesetztere Fälle = = 271
§. 4. Theorie des zusammengesetzten Hebels. = 274

Seite

Zweites Kapitel.

Theorie und Gebrauch der Waagen, Rollen und Flaschenzüge.

§. 1. Die gemeine Waage und die römische Waage = = = = = = 282
§. 2. Die Rollen und Flaschenzüge. = = 286

Drittes Kapitel.

Rad an der Achse, schiefe Ebene, Keil und Schraube.

§. 1. Das Rad an der Achse, nebst Anwendungen 292
§. 2. Von der schiefen Ebene als mechanisches Werkzeug = = = = = 297
§. 3. Der Keil und die Schraube = = = 300

Viertes Kapitel.

Einige zusammengesetztere mechanische Werkzeuge. Die Reibung.

§. 1. Einige zusammengesetztere Werkzeuge = 306
§. 2. Das Wichtigste der Lehre von der Reibung. 312

Fünftes Kapitel.

Einige zusammengesetztere Maschinen.

§. 1. Die Mühlen nach ihrer allgemeinen Einrichtung und Wirkung = = = = 319
§. 2. Einige Maschinen zur Erhebung des Wassers. 334
§. 3. Einiges zur Kenntniß der Uhrwerke = 342
§. 4. Einige zu den mechanischen Wissenschaften gehörige Schriften. = = = = 349

Nachricht.

über Bechsteins Forst- und Jagdwissenschaft ꝛc.

Das ganze Werk wird aus folgenden Theilen bestehen, wovon die mit * bezeichneten schon fertig ausgegeben sind.

A. Forstwissenschaft:

I.	Theil	*	1.	Band.	Forstbotanik.
—	—		2.	—	Naturgeschichte der Forstunkräuterkunde.
—	—		3.	—	Physiologie der Holzgewächse.
II.	—	*	1.	—	Niedere Arithmetik und Algebra.
—	—	*	2.	—	Niedere Geometrie und Stereometrie.
—	—		3.	—	Höhere Mathematik.
III.	—	*		—	Waldbau.
IV.	—	*	1.	—	Forstschutz.
—	—	*	2.	—	Forstinsektologie.
V.	—	*			Waldbenutzung.
VI.	—	*	1.	—	Praktische Geometrie ꝛc. 1. Band.
—	—	*	2.	—	Praktische Geometrie ꝛc. 2. Band.
VII.	—	*			Forsttaxation.
VIII.	—	*	1.	—	Forstmechanik und Physik 1. Band.
—	—		2.	—	Forstmechanik und Physik 2. Band.
—	—	*	3.	—	Forstchemie.
—	—		4.	—	Geognosie und Bodenkunde.
IX.	—	*			Forstdirektion.

B. Jagdwissenschaft.

X.	—	*	1.	—	Jagdzoologie.
—	—	*	2.	—	Jagdtechnologie.

X. Theil * 3. Band. Wildzucht und Wildjagd.
— — * 4. — Wildjagd und Wildbenutzung.
— — 5. — Physiologie der Jagdthiere.

C. Zur Forst- und Jagdwissenschaft zugleich gehörig.

XI. — Forst- und Jagdrecht.
XII. — 1. — Anleitung zum Hand-, Plan- und Bauzeichnen 1. Band.
— — * 2. — 2 Band.
— — * 3. — Fortsetzung hievon 3. Band.
XIII. — Geschichte und Literatur des Forst- und Jagdwesens.
XIV. — Forstlicher Geschäftsstyl.

Die Verlagshandlung.

Der

Der

Grundlehren der Physik und Mechanik

Erstes Buch.

Die allgemeine Physik.

Erstes Buch

Die allgemeine Physik.

Erstes Kapitel.

Einleitung in das Studium der Naturwissenschaft.

Der Gegenstand dieser Einleitung ist eine kurze Darstellung des Begriffs und der Haupttheile der Naturwissenschaft, ihrer Methode, Hülfswissenschaften, ihres Nutzens, nebst der Uebersicht ihrer Geschichte und einiger Schriften.

§. 1.

Begriff und Theile der Naturwissenschaft.

I. Das Wort Natur wird in verschiedener Bedeutung genommen. Im allgemeinsten Sinne umfaßt es alle körperliche und geistige Erscheinungen, welche für den Menschen erkennbar sind. Daher ist Naturwissenschaft, im weitesten Sinne des Wortes, die wissenschaftliche Lehre von allen körperlichen und geistigen Phänomenen des Menschen. In dieser Bedeutung umfaßt sie alle Wissenschaften, und ihr Gebiet ist unermeßlich.

II. Um sie in engere Grenzen einzuschließen, sondert man die Erscheinungen des geistigen Lebens von ihr ab, und beschränkt sie lediglich auf solche Phänomene, welche in der sogenannten äußeren Sin-

nenwelt statt finden. Allein, da es sowohl unorganische als organische Körper gibt, so versteht man unter Naturwissenschaft, in noch engerer Bedeutung, jene wissenschaftliche Lehre, welche sich mit den Erscheinungen unorganischer Körper und ihrer Gründe beschäftigt.

III. Somit ist Naturwissenschaft im engsten Sinne; oder die eigentliche Physik, eine Lehre, welche die allgemeinsten Phänomene unorganisirter Stoffe und ihrer Gründe darzustellen hat; wobei man die physischen Körper nicht nach ihren Grundstoffen, sondern nach größern Massen betrachtet. Die Chemie steht ihr zur Seite. Sie ist die wissenschaftliche Lehre von der Zersetzung körperlicher Stoffe in ihre heterogenen Elemente, und von ihrer Wiederzusammensetzung aus denselben. Ihre Aufgabe ist demnach sowohl eine analytische, als auch eine synthetische.

IV. Die eigentliche Physik läßt sich, zur bequemern Uebersicht ihrer einzelnen Abschnitte, in die allgemeinere und besondere theilen. Jene umfaßt die Erscheinungen, welche der Materie überhaupt, und den nach den drei verschiedenen Aggregat-Zuständen gebildeten Körpern im Besondern zukommen, und enthält somit in vier Abtheilungen die Phänomene des Materiellen überhaupt, die Phänomene der festen, jene der liquiden und endlich der luftförmigen Stoffe. Diese dagegen stellt die Erscheinungen und Gesetze der Wärme, der chemischen Verwandtschaft im Allgemeinen, der Dämpfe und Gase, der Elektricität, des Galvanismus und Magnetismus dar.

V. Aus dem Bisherigen geht auch leicht der Doppelsinn hervor, welchen man mit dem Worte Natur verbindet. Dieses Wort kann nämlich sowohl als Ursache, als auch als Wirkung betrachtet werden. In ersterer Bedeutung umfaßt es den Inbegriff alles dessen, was die äußere Sinnenwelt Mannigfaltiges darbietet; in der zweiten dagegen deutet es auf den Grund hin, woraus die Erscheinungen der körperlichen Natur hervorgehen. Die Scholastiker hatten bereits diesen Unterschied anerkannt, und die natura

natura naturata von der natura naturans, d. h. die hervorgebrachte Natur von der hervorbringenden unterschieden. Der letzte Grund dieses Unterschiedes ist in einem Gesetze des menschlichen Geistes zu suchen, vermöge dessen jede Wirkung eine sie erzeugende Ursache, jede Folge einen zureichenden Grund hat.

VI. Noch verdienen hier einige Begriffe bestimmt zu werden, welche, obwohl innig verwandt, dennoch wiederum wesentlich verschieden sind. Was nennt man natürlich, künstlich, unnatürlich, widernatürlich, wunderbar und magisch?

Natürlich heißt jedes Phänomen, welches den bekannten Naturgesetzen entspricht, z. B. das Schmelzen der Metalle bei gehöriger Hitze, das Gefrieren des Wassers bei bestimmter Verminderung der Wärme, u. s. w.

Künstlich wird dasjenige genannt, was zum Theil aus dem Gesetze der Natur, zum Theil aber aus der Absicht des Menschen hervorgeht. So sind z. B. unsere Uhren künstliche Maschinen, weil die auf der Natur der Sache beruhende Theorie des *Räderwerks als* ein Mittel benutzt wird, die Zeit *gleichförmig* einzutheilen.

Unnatürlich heißt dasjenige, was auf sehr merkbare Weise vom gewöhnlichen Gange der Natur abweicht. Hierher gehören z. B. die verschiedenen Arten der Misgeburten im Thier- und Pflanzenreiche; wobei jedoch zu bemerken ist, daß bloße Varietäten nicht in die Classe des Unnatürlichen zu rechnen sind.

Widernatürlich ist dasjenige, was mit den bekannten Gesetzen der Natur geradezu im Widerspruche steht, z. B. wenn reines Wasser mit reinem Salze verbunden, sich nicht auflößte.

Unter dem Wunderbaren versteht man jene Erscheinungen, welche dem Naturgesetze zuwider und nur durch unmittelbare Einwirkung der Kraft Gottes auf die Natur zu erklären sind. Hieher gehören die Wunder der heiligen Schriften.

Magisch endlich nennen wir alles, was den Schein des Wunderbaren, oder des Widernatürlichen

hat; aber aus natürlichen, nur weniger bekannten Ursachen hervorgeht; z. B. die sogenannten künstlichen Geistererscheinungen, die Benutzung der sympathetischen Tinten, oder der magnetischen Anziehungs- oder Zurückstoßungskraft, und dergleichen; zur Hervorbringung von Erscheinungen, welche dem Uneingeweihten höchst auffallend sind.

§. 2.

Methode der Naturwissenschaft.

I. Die Aufgabe, welche der Naturforscher zu lößen hat, ist von dreifacher Art. Er muß fürs Erste die manigfaltigen Erscheinungen der Natur gehörig auffassen, sodann durch besonnenes Nachforschen die Gesetzmäßigkeit auffinden, welcher sie unterworfen sind, und endlich den Gründen nachspüren, woraus jene Phänomene hervorgehen. Von Jedem muß im besondern gehandelt werden.

II. Der gewöhnlichste Weg, die Naturerscheinungen kennen zu lernen, ist der Erfahrungsweg. Man versteht aber unter Erfahrung im Allgemeinen den Inbegriff sinnlicher Wahrnehmungen; und hier im besondern den Inbegriff jenes Mannichfaltigen, was die äußern Sinne darbieten, wenn wir sie der Fülle jener Erscheinungen öffnen, welche uns allerwärts entgegentritt. Dieser Erfahrungsweg ist durch Beobachtungen und Versuche bedingt. Beobachtungen nennt man jene Wahrnehmungen durch die Sinne, wobei das Mannigfaltige des Phänomens so aufgefaßt wird, wie sich dasselbe unserer aufmerksamen Betrachtung darstellt. So spricht man von Beobachtungen des Gewitters, des Nordscheins, der Finsternisse, des Verlaufs eines Cometen u. s. f. Versuche dagegen nennt man solche Wahrnehmungen, wobei absichtlich gewisse Körper in Verbindung oder in Wechselwirkung versetzt werden, um jene Erscheinungen kennen zu lernen, welche aus dieser Verbindung hervorgehen. So stellt man Versuche mit dem elektrischen Apparate zur Erweite-

rung der Erkenntniß der elektrischen Kraft, oder Versuche mit dem Magneten zur Erläuterung oder zur Erweiterung der Gesetze des Magnetismus an; der Chemiker bringt absichtlich mehrere Stoffe zusammen, und sieht erwartungsvoll den Resultaten ihrer Wechselwirkung entgegen u. s. f.

II. Aus Diesem erkennt man sowohl dasjenige, was Beobachtungen und Versuche Gemeinschaftliches haben, als auch ihr Unterscheidendes. Sollen beide nützliche Resultate liefern, so sind als unerläßliche Bedingungen folgende zu merken: Schärfe der sinnlichen Werkzeuge, ungetheilte Aufmerksamkeit, Freiheit von Vorurtheilen, brauchbare Instrumente, Sachkenntniß, und eine, nur durch besonnene Uebung zu erlangende Gewandtheit. Was die Werkzeuge oder Instrumente, womit wir der natürlichen Beschränktheit unserer Sinne zur Hülfe kommen, betrifft: so seyen dieselben ganz einfach, genau und reinlich. Aus ihrer Verbindung entsteht der physische Apparat, welcher sich wieder in einen electrischen, magnetischen, optischen, u. s. w. abtheilt.

III So schätzbar auch Beobachtungen und Versuche dem Naturforscher sind, so wenig gewähren sie *als solche* eine wissenschaftliche Befriedigung. Sie liefern nur das Mannigfaltige, gleichsam das Material zur Naturwissenschaft. Sie sind als die sichere Grundlage anzusehen, auf welche der Bau der Wissenschaft aufgeführt werden muß. Aus einer nähern Vergleichung der Beobachtungen mit den Versuchen geht noch das Resultat hervor: daß letztere, der Regel nach, den erstern vorzuziehen sind; weil die Erscheinungen durch Hülfe der Versuche einer größern Mannigfaltigkeit fähig sind, woraus meist eine vielseitigere Erkenntniß der Natur hervorgeht.

IV. Der Naturforscher muß sich von den einzelnen Erscheinungen zu ihrer Gesetzmäßigkeit erheben. Man versteht aber unter einem Naturgesetze den nothwendigen Erfolg, welcher Statt finden muß, wenn gewisse Bedingungen vorausgesetzt werden. Die Sätze: alle liquide Körper bilden, wenn sie in

ruhigen Gefäßen von bedeutendem Durchmesser in Ruhe stehen, wagrechte Oberflächen; die gleichnamigen Pole zweier leicht beweglichen Magnetstäbchen stoßen sich zurück, ihre ungleichnamigen Pole ziehen sich an; wenn ein vollkommen elastischer Körper nach schiefer Richtung gegen eine Ebene anstößt, so ist der Winkel, unter welchem er zurückprallt, jenem Winkel gleich, unter welchem derselbe gegen die Ebene anstieß; kleine Massen tropfbar-flüssiger Körper bilden, wenn sie sich selbst überlassen sind, kleine Kügelchen oder Tropfen, u. s. w." sind dergleichen Naturgesetze. Da in der physischen Natur das Gesetz der Nothwendigkeit herrscht, so liegt hierin der Grund von jener Unveränderlichkeit der Naturgesetze.

V. Die gewöhnlichste Methode zur Kenntniß dieser Gesetze zu gelangen, ist in der besonnenen Absonderung des Gemeinsamen begründet, welches mehrere zu einerlei Art gehörige Phänomene darbieten. Erscheint dieses Gemeinsame vielfach, unter gleichen Umständen immer auf gleiche Weise, so bildet man von dieser comparativen Allgemeinheit den Schluß auf die nothwendige Verbindung zwischen Bedingniß und Erfolg, und der Ausdruck davon ist das Naturgesetz. Wenn man z. B. vielfältig wahrgenommen hat, daß Salze, mit reinem Wasser in Verbindung gebracht, sich darin auflößen; so zwar, daß nie eine Ausnahme oder Abweichung von diesem Erfolge statt fand, so zieht man daraus den Schluß: Alle Salze sind auflößlich im Wasser; und dieser Satz drückt sodann ein Naturgesetz aus. Hieraus folgt von selbst, daß das Naturgesetz weder auf wenige, noch bloß auf solche Beobachtungen oder Versuche gegründet seyn darf, welche nur entfernte Aehnlichkeit mit einander haben.

VI. Außerdem gibt es noch eine andere Methode zur Kenntniß der Naturgesetze zu gelangen, nämlich auf dem Wege der bloßen Speculation. Man bildet sich zuerst einen allgemeinen Begriff, leitet aus diesem richtige Folgerungen und allgemeine Gesetze ab, und verbindet sie zu einem zusammenhängenden Ganzen. Soll aber diese Theorie nicht eitle Speculation

seyn, sondern practischen Werth gewinnen, so muß das Band nachgewiesen werden, welches den bloß theoretisch aufgestellten Grundbegriff mit der Wirklichkeit verbindet. So kann man z. B. aus dem Begriffe einer vollkommen elastischen Masse, d. h. einer solchen, welche sich mit der nämlichen Kraft wieder herstellt, womit sie zusammengepreßt wurde, mehrere Folgerungen ableiten, welche als allgemeine Gesetze für solche elastische Körper gültig sind. Allein diese Theorie wird dann erst practisch werden, wenn uns die sinnliche Natur eine vollkommen elastische Masse darbietet. Gibt es keine dergleichen, so wird auch jene Lehre nur eine beschränkte Anwendung in der Wirklichkeit finden.

VII. Der Nutzen, welchen uns die Kenntniß der Naturgesetze gewährt, ist höchst bedeutend. Sie sind dem Techniker und practischen Naturforscher unentbehrlich, indem er mit Gewißheit voraus bestimmt, was für ein Erfolg eintreten muß, wenn diese oder jene bestimmten Bedingungen vorhanden sind. Alle Anwendungen, welche man in Künsten, Fabriken und Manufacturen, in der gesammten Chemie und Physik, davon macht, beruhen auf diesem Principe. Gleichen Werth haben die Naturgesetze für die Wissenschaft, indem sich der Geist durch ihre Erkenntniß vom Besondern zum Allgemeinen erhebt, und hierdurch seinem Streben nach höherem Wissen zum Theile genüget. Indessen ist die Aufgabe des Naturforschers mit dieser Kenntniß der Naturgesetze noch nicht vollendet. Denn auch diese Gesetze der Natur haben ihren Grund, zu dessen fernerer Erforschung der menschliche Geist unwiderstehlich getrieben wird.

VIII. Dieses führt zum höchsten Ziele der Naturwissenschaft, nämlich zur Erklärung der Naturerscheinungen. Man versteht aber unter der Erklärung eines Phänomens die Angabe jener Ursache, woraus es hervorgeht. So wird z. B. das Aufsteigen des Wassers in dem Stiefel der Pumpen durch den Druck der Luft erklärt, welcher hier einseitig auf die Wasserfläche einwirkt. Die Erscheinungen des Ge-

witters werden aus einem gestörten Gleichgewichte der Luftelectricität erklärt u. s. w. Diese Erklärungsweise ist entweder eine categorische, oder eine hypothetische. Jene besteht in der Angabe des wahren Grundes, welchem die Erscheinung ihr Daseyn verdankt. Eine Ursache heißt aber wahr, wenn sie sinnlich überzeugend in der Natur vorhanden und nicht bloß theoretisch ausgedacht ist; wenn sie das Phänomen nicht auf eine bloß mögliche Weise, sondern durchaus nothwendig und überzeugend ableitet. Die eben bemerkten Erklärungen sind categorische: weil sowohl das Daseyn des Luftdrucks, als auch der Luftelectricität so überzeugend dargethan ist, daß nur unverständige Zweifler hieran zweifeln können.

IX. Von anderer Art sind die hypothetischen Erklärungen. Da es uns nicht immer vergönnt ist, die wahren Ursachen aufzufinden, woraus die Erscheinungen hervorgehen, und wir doch das Streben haben, dieselben nach ihren Gründen zu erkennen; so bleibt nur Ein Weg zur Befriedigung des Geistes übrig. Man legt nämlich eine, einstweilen fingirte Ursache zum Grunde, und versucht es, ob sie im Stande ist, alle Phänomene befriedigend zu erklären. Solche problematisch aufgestellte Erklärungsweisen nennt man Hypothesen; und es ist klar, daß sie sowohl der Beschränktheit des Menschen, als seinem rastlosen Streben nach Erkenntniß der letzten Gründe, ihre Entstehung verdanken. Aber nicht jede Hypothese ist annehmbar. Soll sie es seyn, so darf sie fürs Erste keinem bekannten Naturgesetze widersprechen; dann dürfen sich die Erscheinungen nicht auf gezwungene Weise aus ihr ableiten lassen. Endlich müssen die hypothetischen Erklärungen durch wirkliche Versuche unterstützt seyn, und nicht auf bloß theoretischen Speculationen beruhen. Wenn gleich die Hypothese durch Gründe der Mathesis entstanden ist, so muß sie doch immer einen Faden haben, welcher die bloße Theorie mit der Praxis verbindet.

X. Hieraus folgt, daß jede neue Hypothese, bevor man ihr Glauben schenkt, einer sorgfältigen

Prüfung zu unterwerfen ist. Der Naturforscher soll, auch wenn er Selbsterfinder davon ist und durch vielfache Anwendungen sie lieb gewonnen hat, sich von ihr losreißen, sobald ihre Unstatthaftigkeit erwiesen ist. Nur durch sorgfältige unbefangene Prüfung wird dieselbe sich entweder zu dem Range categorischer Erklärungen erheben, oder am Werthe so sehr verlieren, daß etwa nur die Geschichte ihr eine Stelle vergönnt. Die von Copernicus zuerst ausgesprochene Ordnung der Himmelskörper und die Art ihrer Bewegungen war zu seiner Zeit eine bloße Hypothese. Ihr Erfinder war nicht im Besitze jener Beweisgründe, welche heut zu Tage jeden verständigen Zweifel besiegen. Allein diese Ansicht gewann in der Folgezeit immer mehr und mehr an innerem Werthe; so daß sie heut zu Tage als categorische Erklärung allgemein angenommen wird. Die Annahme des Phlogistons, d. h. eines eigenen Brennstoffs, welcher in den brennbaren Körpern gebunden, und erst beim Verbrennen fühlbar wäre, war ebenfalls eine berüchtigte Hypothese der ältern Chemie. Die Fortschritte dieser Wissenschaft haben bewiesen daß die Annahme eines solchen Phlogistons eine bloß fingirte, nicht mit überzeugenden Gründen unterstützte und durchaus nicht geeignete sey, jene Phänomene zu erklären, welche in spätern Zeiten entdeckt wurden. Die Hypothese vom Phlogiston verlor stufenmäßig am Werthe, ist heut zu Tage allgemein aufgegeben, und findet nur deßhalb eine dauernde Stelle in der Geschichte der Naturwissenschaft, weil sie so lange Zeit das herrschende Princip der Chemie war.

§. 3.

Die Hülfslehren der Naturwissenschaft und die Newtonischen Regeln.

I. Da die Naturwissenschaft in ihrem Umfange unermeßlich, in ihren Theilen höchst mannigfaltig ist, so geht schon hieraus die enge Verbindung dieser einzelnen Theile zum Ganzen hervor; und gleichwie die Natur selber als ein großes, dem menschlichen Forschungs-

geiste nicht zu übersehendes Ganze erscheint, worin die wirksamen Kräfte in steter Wechselwirkung sind: so muß auch diese innere Verbindung und dieses Streben zur Einheit des Ganzen in der Wissenschaft bestehen. Soll die Naturwissenschaft mit gutem Erfolge angebaut werden, so muß die Naturgeschichte, die Mathematik und Chemie ihr dazu hülfreiche Hand leisten.

II. Der Zweck der Naturgeschichte ist es, die unendliche Menge der uns umgebenden Naturkörper nach ihren wesentlichsten Unterscheidungszeichen dergestalt kennen zu lernen: daß hieraus eine bequeme, systematische Uebersicht hervorgeht. Diese Kenntniß ist zwar nur eine historische, aber dem Naturforscher, von unschätzbarem Werthe: da die Erscheinungen, welche aus der Wechselwirkung der Naturkörper hervorgehen, nur dann erkannt und überzeugend erklärt werden können, wenn man jene Merkmale kennt, welche den Naturkörpern eigenthümlich sind. Wie wird derjenige, welcher diese Körper auch nicht einmal von ihrer Außenseite kennt, es unternehmen dürfen: die Phänomene zu erforschen, welche aus ihrer gegenseitigen Einwirkung entspringen?

III. Der Gegenstand der Mathematik ist die Größe, ihre Bestimmung und Vergleichung. Sie erstreckt sich auch auf die Kräfte der Natur, welche als stetige Größen anzusehen sind. Da nun jede Naturerscheinung, als Wirkung, auf eine sie hervorbringende Kraft, als Ursache, schließen läßt: so geht hieraus schon die enge Verbindung der Naturwissenschaft mit der Mathesis hervor. Wenn der Naturforscher im Stande ist, das Maaß jener Kräfte zu bestimmen, deren Wechselwirkung das Leben der gesammten Natur bedingt, dann hat er die schwierige Aufgabe befriedigend gelöset. Da dieses theils durch Anwendungen der Zahlenlehre, theils durch Hülfssätze der Raumlehre, und endlich durch die so fruchtbare Analysis geschieht: so behauptet die Mathematik als Hülfslehre der Naturwissenschaft eine vorzügliche Stelle.

IV. Auch verdient die **Chemie** als wesentliches Hülfsstudium der Naturwissenschaft genannt zu werden. Denn ihre Aufgabe ist, die zusammengesetzten physischen Körper in ihre einfachen heterogenen Grundstoffe, d. h. in ihre Elemente aufzulösen, und sodann wiederum aus diesen Elementarstoffen gehörig zusammen zu setzen. Daher begnügt sich diese Lehre nicht mit der Außenseite der Körper, sondern dringt in ihr Inneres ein, und gibt eben hierdurch befriedigenden Aufschluß über jene Erscheinungen, welche aus der Wechselwirkung körperlicher Stoffe hervorgehen. Da die Natur, im Großen wie im Kleinen, unendlich schöpferisch im Zerlegen des Bestehenden, und im Erzeugen neuer Gebilde ist, eben diese Zerlegungen und Erzeugungen aber auf unveränderlichen chemischen Gesetzen beruhen: so übersieht man zur Genüge den engen Verband, welcher zwischen der Naturwissenschaft und der Chemie herrscht.

V. Mit Recht pflegt man in den Einleitungen zur Naturwissenschaft der sogenannten **Newtonischen Regeln** Erwähnung zu thun; weil dieser große *Mann in ihnen eine allgemeine Anweisung hinterlassen hat, wie man die Natur mit Nutzen, und ohne sich in bloß theoretische Träume zu verlieren, studiren soll.* Es sind folgende vier:

a) Nur jene Ursachen soll man für **wahre** halten, welche zur einfachsten und verständlichsten Erklärung der Naturerscheinungen hinreichen. Jene Ursachen sind aber **wahr**, welche in der Natur sinnlich nachgewiesen werden können; aus welchen die Erscheinung nicht bloß möglicher Weise, sondern ganz überzeugend hervorgeht: so daß unter veränderten Bedingungen die nämliche Ursache auch dieselbige Wirkung erzeugt, und endlich bei gänzlicher Wegnahme der Ursache auch das Phänomen selbst hinwegfällt.

b) Solche Wirkungen, welche **durchaus von der nämlichen Art** sind, müssen auch aus einerlei Ursache abgeleitet werden. Hierbei ist die Vorsicht nöthig, das Zufällige der Erscheinungen,

was oft ihre scheinbare Aehnlichkeit bildet, von ihrem Wesentlichen zu unterscheiden.

c) Jene Eigenschaften des Materiellen, welche sich bei jeder Materie den Sinnen darbieten, und keiner wesentlichen Abänderung unterworfen sind, dürfen als allgemeine Eigenschaften der Körper angesehen werden. Dergleichen sind z. B. die Undurchdringlichkeit, Ausdehnung, Theilbarkeit, Beweglichkeit, u. s. w.

d) Jene Sätze, welche auf dem Wege einer richtigen Induction aus dem Einzelnen aufgefunden worden sind, müssen, wenn gleich Hypothesen entgegen stehen, so lange für wahr oder höchst wahrscheinlich gehalten werden, bis neue Erscheinungen sie entweder bestätigen oder beschränken.

§. 4.

Etwas von dem Nutzen der Naturwissenschaft.

I. Da die Naturwissenschaft, als Wissenschaft der körperlichen Natur, einen so ungemessenen Umfang hat: so müssen ihre Lehren von höchst mannigfaltigen Anwendungen in Bezug auf das theoretische und praktische Bedürfniß des Menschen seyn, welcher nicht blindlings fortschreiten, sondern seinem geistigen Bedürfnisse entsprechen will.

II. Das Studium der Naturwissenschaft bereichert unsern Geist mit einer großen Menge der lehrreichsten und wichtigsten Kenntnisse, und erhebt ihn hierdurch zu einer höhern Stufe der menschlichen Bildung. Was kann auch dem denkenden Menschen anziehender seyn, als die Erforschung jener unendlich mannigfaltigen Erscheinungen, welche sich täglich seinen Sinnen darbieten? Was kann höheres Interesse für ihn haben, als die Kenntniß jener festen unabänderlichen Gesetze, nach welchen die Natur in ihrer Handlungsweise verfährt? Was endlich befriedigender für jene Wißbegierde, als die Zusammenstellung dieser Er-

kenntnisse zu einem, so viel es immer thunlich ist, systematischen Ganzen?

III. Auch die höchst mannigfaltigen Anwendungen, welche von den Lehren der Naturwissenschaft zur Befriedigung der Bedürfnisse des menschlichen Lebens gemacht werden, verleihen diesem Studium so viele Reize: daß es sich schon deshalb verlohnet, sich demselben mit Ernst und Eifer zu widmen. Beispiele dieser Anwendungen sind so bekannt, daß es überflüssig erscheint, dieselben hier ausführlicher darzustellen.

IV. Gleichwie die Naturwissenschaft für sich selber höchst wichtig ist, so zeigt sie sich wieder als Hülfswissenschaft anderer Lehren, welche ohne ihre Beihülfe nur unvollkommen bestehen könnten. Hierher gehören z. B. die sogenannten technischen Wissenschaften: die bürgerliche Baukunst, die Kriegsbaukunst, die Geschützkunde, die Cameralwissenschaft, die praktische Forstwissenschaft, und viele andere.

V. Außerdem gewährt uns das Studium der Natur eine höchst angenehme Unterhaltung in den Stunden der Muße. Sie belehrt indem sie ergötzt; *und von ihr* kann man mit Wahrheit sagen: miscet *utile dulci.* Daher hat sie auch für Dilettanten von jeher so großen Reiz gehabt; indem es so unterhaltend als erfreulich ist, durch wirkliches Experimentiren auf neue Resultate zu gelangen, oder die schon bekannten Gesetze der Natur durch sie bestätigt finden.

VI. Ferner äußert die Naturwissenschaft auch dadurch ihren großen Werth für den Menschen, daß sie die Fesseln des Aberglaubens am kräftigsten zerstört; indem man durch ihr Studium die Ueberzeugung gewinnt, daß alle Erscheinungen in der äußern Sinnenwelt aus Ursachen hervorgehen, welche in der Natur selbst vorhanden sind. Es bedarf daher keineswegs der Annahme eines übernatürlichen Einflusses, um solche Phänomene zu erklären. Es ist z. B. noch nicht so sehr lange her, daß man die Gewitter aus der Einwirkung der sogenannten Poltergeister, oder die Irrlichter als das Spuken der Verstorbenen erklärt hat. Aehnliche Wolken der Unwissenheit und des Aberglaubens wer-

den immer mehr verschwinden, je heller das Licht der Naturwissenschaft den Geist der Zeitgenossen erleuchtet. Dieses Studium trägt daher das Seinige zur Förderung wahrer Aufklärung bei.

VII. Gleichwie die Erforschung der Natur uns dahin führt, die Kraft des menschlichen Geistes zu bewundern, welcher so tief in ihre Geheimnisse eingedrungen ist: so führt sie uns auf der andern Seite zur Demuth und Bescheidenheit zurück, indem wir nur allzusehr die Beschränktheit unseres Wissens und die Unmöglichkeit fühlen, die Natur in ihrer Gesammtheit zu erkennen. Diese Betrachtung soll uns vor jenem blinden Stolze bewahren, welcher nachtheilig auf die Moralität des Menschen einwirkt, und nur den unwissenden oder den Halbwissern Befriedigung gewährt. Sie wird aber unsere Kraft nicht erschlaffen, sondern nur um so mächtiger anregen, immer mehr vorwärts zu dringen, auf dem unendlichen Gebiete der sinnlichen Schöpfung.

VIII. Endlich verdient noch bemerkt zu werden, daß das besonnene Naturstudium uns unwiderstehlich zum Daseyn eines höchsten, allmächtigen, allweisen und allgütigen Wesens, zum Daseyn Gottes, hinführt; so, daß keiner der sogenannten Beweise dafür uns so mächtig ergreift, als derjenige welcher von der Zweckmäßigkeit, Einfachheit, Ordnung und Unendlichkeit, welche wir in der Natur erkennen, hergenommen ist.

§. 5.

Etwas über die Geschichte der Naturwissenschaft.

I. Die ersten Anfänge naturwissenschaftlicher Kenntnisse verlieren sich in dem grauen Alterthume. Die Bedürfnisse des einzelnen Menschen waren wahrscheinlich die ersten Veranlassungen zur Entdeckung gewisser Eigenschaften der Naturkörper. Diese Bedürfnisse vermehrten sich durch die Vermehrung des Menschengeschlechts, und mußten bei der Begründung

fester

fester Wohnplätze, bei der Entstehung des Ackerbaues und des Handels, schon von größerer Ausdehnung werden. Ihre Befriedigung setzt offenbar den Besitz von mancherlei Kenntnissen der Natur zum voraus.

II. Bei den Völkern des höchsten Alterthums, bei den Hindus, Babyloniern oder Chaldäern, bei den Persern und Aegyptern findet man bedeutende Spuren von Kenntnissen der Natur, welche jedoch wiederum in Verfall geriethen.

III. Die Griechen waren zwar Verehrer des Naturstudiums; allein die übertriebene Sucht zu speculiren und zu theoretisiren, nebst dem beinahe gänzlich vernachlässigten Wege der Beobachtungen und Versuche, ließ die Naturwissenschaft nicht bedeutend gedeihen. Die Männer, welche sich vorzüglich ausgezeichnet haben, sind Thales, (um das Jahr der Welt 3400) Pythagoras (3475) Democritus (3500) Plato (3638) Aristoteles (3664) und die Peripatetiker, Epicur (3900) die Alexandrinische Schule. Höchst bedeutend waren dagegen die Fortschritte der Griechen in der Mathesis, worin sie zum Theile noch heut zu Tage unsere Muster sind, z. B. Euclides (300 J. v. Ch. G.) Hipparchus (160 J. v. Ch. G.) Ptolomäus (im 2ten Jahrh. nach Ch. G.) Archimedes (250 J. v. Ch. G.) Apollonius, u. s. w.

IV. Bei den Römern wollten die gründlichen Fortschritte der Naturwissenschaft nicht sehr gedeihen. Die bedeutendsten Männer waren Lucrez im 1ten Jahrh. v. Ch. G. Seneca und Plinius der Aeltere im 1ten Jahrh. n. Ch. G.

V. Mit dem allmählichen Verfalle des römischen Reichs, gingen auch die Philosophie und Naturwissenschaft ihrem Untergange entgegen. Nur bei den Arabern erhielten sich mathematische, astronomische und chemische Kenntnisse (vom 9ten Jahrh. nach Ch. G. an.)

VI. Von der Zeit des Einfalls der nördlichen Völker in das römische Reich im 5ten Jahrh. nach

Ch. G. bis zur allmähligen Wiederherstellung der Wissenschaften im 15ten Jahrh. stand es mit der Naturwissenschaft bei den Abendländern sehr übel. Einige nützliche Erfindungen dieses Zeitraums waren der Compaß, die Brillen

VII. Mit dem Anfange des 16ten Jahrh. entstand durch den Ursprung der Experimentalphysik eine neue Epoche für die Naturwissenschaft, deren Fortschritte nun schneller und sicherer waren. Die wichtigsten Männer waren
Nicolaus Copernicus (geb. 1472, gest. 1543). Tycho de Brache (geb. 1546 gest. 1601). Franz. Baco von Verulam (geb. 1560, gest. 1626). Galileo Galilei, (geb. 1564, gest. 1641). Johann Kepler, (geb. 1571, gest. 1630). Peter Gassendi, (geb. 1592, gest. 1655) Willebrord Snellius, (geb. 1591, gest. 1626) Renat des Cartes, (geb. 1596, gest. 1650) Evangelista Torricelli, (geb. 1618, gest. 1647) Otto von Guerike, (geb. 1602, gest. 1686) Robert Boyle geb. 1626, gest. 1691. Auch die Erfindung der Analysis des Unendlichen durch Leibnitz (geb. 1646, gest. 1716) und Isaac Newton (geb. 1642. gest 1727. trug sehr viel zur Erweiterung der Naturlehre bei.

VIII. Nach diesem begann eine neuere Epoche. Die Lehre von der Electricität wurde bedeutend erweitert, die Chemie erhielt eine neue Gestalt durch die Entdeckung der Gase, und dieser Umschwung der chemischen Lehren wirkte sehr wohlthätig auf die Naturwissenschaft. Später wurde der Galvanismus und dessen verbreitete Wirkung in der Natur entdeckt, woran sich in der neusten Zeit die electrisch-magnetischen Entdeckungen anschließen. Alle Naturforscher zu nennen, welche zur Erweiterung der Wissenschaft beitrugen, verbietet hier der Raum. Aber Franklin, Priestley, Lavoisier, Galvani, Volta, Davy, Karsten, Lichtenberg, Kästner, Gren, Oerstedt verdienen vorzüglich genannt zu werden.

§. 6.

Verzeichniß einiger zur Naturwissenschaft gehörigen Schriften.

I. Systeme und Lehrbücher.

1) Isaac Newtoni philosophiae naturalis principia mathematica. Lond. 1687. 4. 1726. 4. Eadem perpetuis commentariis illustrata, studio P. P. Thomae Le Sueur et Franc. Jacquier T. I — IV Genevae, 1739 4to, 1750 4to.
Eadem commentationibus illustrata potissimum Joannis Fessanek et quibusdam in locis veterioribus Th. Le Sueur et Franc. Jacquier aliter propositis. T. I. Pragae, 1780. 4to.

2) Physices elementa mathematica, experimentis confirmata. auct. Guil. Jacobo s' Gravesande. Leidae. 1719. 4to. 1744. F. I. II. 4to ed. III.

3) Christ. Wolf's, Versuch zu genauerer Kenntniß der Natur und Kunst. Halle. 1721 bis 1723. Band 1 — 3 8.

4) Petri von Muschenbroek introductio ad philosophiam naturalem. Lugd. Batav. 1762, Tom. I. II. gr. 4to.

5) Leçons de Physique expérimentale, par Mr. L' Abbé Nollet. à. Paris 1743. u. f. T. I. — VI. 8vo
Des Herrn Abts. J. A. Nollet, Vorlesungen über die Experimentalnaturlehre. Aus dem Franz. Erfurt 1749 bis 1764. Thl. I — III. 8.

6) Johann Andreas Segner's Einleitung in die Naturlehre. Göttingen 1746. 8. 1754 8. 1770. 8.

7) Praelectiones in physicam theoreticam, conscriptae a Georg Wolfg. Krafft. Tübing 1750 8. In physicae partes mechanicas. P. II. 1751.

8. In physicae partes opticas et his cognatas P. III, 1754. 8.

8) Johann Peter Eberhard's erste Gründe der Naturlehre. Halle. 1754. 8. 5te Aufl. 1787. 8.

9) Compendiaria physicae institutio, quam in usum auditorum elucubratus est P. Mako. Vindob. 1762. p. I. II. 8.

10) Institutionum physicae pars I, seu physica generalis, conscripta in usum tironum a Carolo Scherffer. Vindob 1763. T. II, seu phys. part. ibidem, eod. 8.

11) Leçons de physique expérimentale, par. Mr. Sigaud de la Fond. A Paris 1767. T. I. II. 12.
Anweisung zur Experimentalphysik aus dem Franz. des Herrn Sigaud de la Fond. Dresden 1774 Thl. I. II. gr. 8.
Ebendesselben élémens de physique théoriqe et expérimentale. A Paris 1777. T. I — IV. 8.

12) Anfangsgründe der Naturlehre von Johann Christ. Polyb. Erxleben. Götting 1772. 8. Mit Zusätzen von G. C. Lichtenberg 1784. 8. 1787. 8. 1791 8. 1794. 8.

13) Wenzesl. Joh. Gust. Karsten Anfangsgründe der Naturlehre. Halle, 1780 8. 2te Aufl. von F. A. C. Gren. Halle, 1790 8.

14) Ebendesselben Anleitung zur gemeinnützlichen Kenntniß der Natur. Halle, 1783. 8.

15) Ebendesselben kurzer Entwurf der Naturwissenschaft. Halle, 1785. 8.

16) F. G. Kratzenstein's Vorlesungen über die Experimental-Physik. 6te. Aufl. Kopenhagen, 1787. 8.

17) Elémens de Physique en forme de tables par M. Schurer. A Strasbourg, 1786. 8. T. I.

18) I. H. van Swinden, positiones physicae. Harderov. T. I. 1786. T. II. 1787.

19) Grundlage zu meinen Vorlesungen über die Experimentalphysik von Mark. Herz. Berlin, 1787. 8.

20) Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft von Imman. Kant. 2te Aufl. Riga, 1787. 8.

21) William Nicholson's, Einleitung in die Naturlehre. Aus dem Englischen mit Zusätzen und Anmerkungen von A. F. Lüdike. Bd. I. II. Leipzig 1787. 8.

22) Grundriß des mathematischen und chemisch-mineralogischen Theils der Naturlehre, von Joh. Phil. Hobert. Berlin 1789. 8.

23) Georg Simon Klügel's, Anfangsgründe der Naturlehre, in Verbindung mit der Chemie und Mineralogie, 2te Aufl. Berlin und Stettin. 1806. 8. und in dessen Encyclopädie. Thl. II. 3te Aufl. daselbst 1806. 8.

24) Vorlesungen über die Experimentalphysik, von Fr. C. Achard. Thl. I — IV. Berl. 1791. 8.

25) Vollständiger und faßlicher Unterricht in der Naturlehre. In einer Reihe von Briefen an einen jungen Herrn von Stande von Michael Hube. 3 Bde. Leipzig 1793 — 94 8. Neue, vermehrte Aufl. Leipz. 1801. 4 Bde. 8.

26) Compendium institutionum physicarum in usum auditorum conscripsit Mathaeus Pankl. Posonii, 1793. P. I. II. III. 8.

27) Grundriß der öffentlichen Vorlesungen über die Experimentalnaturlehre, von P. Maximus Imhoff. München, Th. I. 1794. Th. II. 1795. 8.

28) Ad. Wilh. Hau'chs Anfangsgründe der Naturlehre. a. d. Dänischen übersetzt von Joh. Clem. Tode. Kopenhagen und Leipzig, Th. I. II. 1795 8.

29) R. Sullivan's Uebersicht der Natur, in Briefen an einen Reisenden. Aus dem Englischen mit einigen Anmerkungen Leipz. B. I. 1795. B. II. 1796. B. III. 1797. 8.

30) Lehrbuch der Naturlehre von Jul. Conr. Yelin, B. I. Anspach, 1796. 8.
31) J. C. Fischer's Anfangsgründe der Physik. Jena, 1797. 8.
32) G. Adam's Vorlesungen über die Experimentalphysik; aus dem Engl übersetzt von Geißler Leipz. 1798 — 99. 2 Thle. 8.
33) J. T. Mayer's Anfangsgründe der Naturlehre. Götting. 1801. 2 Thl. 8, 2. Aufl 1804; 3. Aufl. 1812.
34) J. B. Hauy Anfangsgründe der Physik a. d. Franz. übersetzt von Weiß. Leipz. 1804 — 5. 2 Thl. 8.
35) E. G. Fischer's Lehrbuch der mechanischen Naturlehre. Berl. 1806. 8.
36) Tib. Cavallo Experimentalnaturlehre a. d. Engl. übersetzt von Trommsdorf. Erfurt. 1806. 4 Bde. 8.
37) F. A. C. Gren's Grundriß der Naturlehre. Herausgegeben von K. W. G. Kastner. 6te Aufl. Halle 1819.
38) J. G F. Schrader's Grundriß der Experimental-Naturlehre ꝛc. 2. Aufl. von L. W. Gilbert. Hamburg. 1804. gr. 8.
39) G. H. Schmidt's Handbuch der Naturlehre. 2te. Aufl. Gießen. 1813. gr. 8.
40) Hildebrand's Anfangsgründe der dynamischen Naturlehre. Erlangen. 1807. 8.
41) G. L. Parrot's Grundriß der theoretischen Physik. Dorpat. 1811. 8.
42) L. A. Jungnitz Grundriß der Naturlehre. Breslau 1804. 8.
43) J. J. Frieß, System der theoretischen Physik. Heidelb. 1812. 8.
44) L. Kries Lehrbuch der Physik. 2. Aufl. Jena 1816 8.
45) B Scholz Anfangsgründe der Physik. Wien 1816. 8.
46) J. P. Neumann's Lehrbuch der Physik. Wien. 1818. 8.

47) J. B. Trommsdorf's Grundriß der Physik. Gotha. 1817. 8.
48) G. F. Biot. Traité de Physique expérimentale et mathématique. à Paris 1816. Uebersetzt v. F. Wolf. Berl. 1819. 8.
49) K. W. G. Kastner's Grundriß der Experimentalphysik 2te Aufl. Heidelb. 1820.
50) Dessen Grundzüge der Physik und Chemie. Bonn. 1821.
51) A. F. Strauß. Lehrbuch der besondern und angewandten Physik. Mainz 1823. 8.
52) J. J. J. Hoffmann's Lehrbuch der allgemeinen Physik. Mainz 1821. 8.

II. Wörterbücher.

1) Physikalisches Wörterbuch, oder Versuch einer Erklärung der vornehmsten Begriffe und Kunstwörter der Naturlehre, in alphabetischer Ordnung, von Johann Sam Traugott Gehler. Th. I. Leipz. 1787; Th. II. 1789; Thl. III. 1790; Thl. IV. 1791; Thl. V. 1795; Thl. VI. 1796. 8.
2) J. C. Fischer's physikalisches Wörterb. ꝛc. Götting 1798 — 1805, 6 Bde. 8.

III. Vermischte Schriften.

1) Franc. Bacon. de Verulamio opera omnia, opera Sim. J. Arnoldi. Lips. 1694. fol.
2) Robert Boyle opera varia. Genevae 1680. 4. Cum appendice 1682 — 1688.
3) Christ. Hugenii opera varia, cura Guil. Iac. S'Gravesande. T. I. II. Lugd. Bat. 1724. 4.
Ejusd. opera reliqua. T. I. II. Amstelod, 1728. 4.
4) Pet. van Muschenbroek physicae experimentalis et Geometricae dissertationes. Lugd. Bat. 1729. 4.
5) Tentamina experimentorum naturalium etc. edid. Pet. van Muschenbroek. Lugd. Bat. 4.

6) Leon. Euleri opuscula varii argumenti. T. I. — III. Berol. 1746. 1750. 1751. 4.
Ebendesselben Lettres à une princesse d'Allemagne sur divers sujets de physique et de philosophie. T. I — III. A Mitau 1770 — 1774. 8. Nouvelle édit. par Mr. de Condorcet et de La Croix. à Paris T. I. 1787. T. II 1788. gr. 8.
Briefe an eine deutsche Prinzessin über verschiedene Gegenstände aus der Physik und Philosophie 1 — 3 Thl. Leipz. 1769 — 1774. 8. Neue Ausg. v. Fr. Kries. Bd. I. Leipzig 1792. Bd. II. u. III. 1794. gr. 8.
7) Abrah. Gotth. Kaestner Dissertationes mathematicae et physicae. Altenburgi 1771. 4.
8) Recherches sur les modifications de l'atmosphère par J. André de Luc. T. I. II. à Génève 1772. gr. 4.
J. A. de Luc Untersuchungen über die Atmosphäre und die zur Abmessung ihrer Veränderungen dienlichen Werkzeuge; aus dem Franz. Thl. I. II. Leipz. 1776. 1778. 8.
9) Ebendesselben Idées sur la météorologie. T. I. II. A. Londres 1786. 8.
Neue Ideen über die Meteorologie, von J. A. de Luc; aus dem Franz. Thl. I. II. Berl. und Stettin 1787. 1788. 8.
10) Voyages dans les Alpes par Ben. de Saussure. T. I — IV. A Génève 1780 — 1786. gr. 8.
Bened. von Saussure Reisen durch die Alpen; aus dem Franz. Leip. 1781 — 1788. Bd. I — IV. 8.
11) Franz. Carl Achard's chymisch physische Schriften. Berl. 1780. 8.
12) Ebendesselben Sammlung physikalischer und chymischer Abhandlungen. Bd. I. Berlin 1784. 8.
13) Torb. Bergmann opuscula physica et chemica. Vol. I. II. Holm. Upsal. et Aboae

1779 — 1780. 8. Vol. III. Ebendaselbst 1783 und Lips. 1786. Gr. 8. Vol. IV. — VI, edid. Ern. Benj. Gottl. Hebenstreit. Lips. 1787. 1788. 1790. Gr. 8.

14) Carol. Guil. Scheele opuscula chemica et physica, edid. Ern. Gottl. Benj. Hebenstreit. Vol. I. II. Lips. 1788. 1789.

15) Experiments and observations on different kinds of air. By Jo. Priestley. Lond. 1774. 8. sec. edidit. 1775. 8. Vol. II. 1775. Vol. III. 1776. 8.
Dr Jos. Priestley's Versuche und Beobachtungen über verschiedene Gattungen der Luft; aus dem Engl. Thl. I. Wien und Leipzig 1778. 8. Thl. II. 1779. Thl. III. 1780.

16) Dr. Jos. Priestley experiments and observations relating to various branches of natural philosophy; with a continuation of the observations on air. Lond. 1779. Vol. II. Birmingh. 1781. 8. Vol. III. Birmingh. 1786 8. (Der Verfasser führt dieses Werk als eine Fortsetzung des vorigen an. Eine neue Ausg. beider in 3 Bdn. hat er 1790 zu London herausgegeben.)
Ebendesselben Versuche und Beobachtungen über verschiedene Theile der Naturlehre aus dem Engl. Leipz. 1780. Bd. II. Wien und Leipz. 1782. 8.

17) Opuscules physiques et chymiques. par. M. Lavoisier T. I. II. A Paris 1774. 4.
Herrn Lavoisier physikalisch-chemische Schriften a. d. Franz. v. H. Ehrenf. Weigel. Bd. I. Greifswalde 1783. 8. Bd. II. 1785. 8. Aus dem Franz. gesammelt und übersetzt mit Anmerkungen von Ebendemselben. Bd. III. Greifswalde 1785. 8. Von H. F. Link. Bd. IV. Greifswalde 1792. Bd. V. 1793. 8.

18) Joh. Ingenhouß vermischte Schriften, physisch-medicinischen Inhalts, übersetzt und herausgegeben von Nik. Carl Molitor. Wien 1782. 8. Neue sehr vermehrte Aufl. Bd. I. II. Wien 1784, 8.

19) Sammlung zur Physik und Naturgeschichte, von einigen Liebhabern dieser Wissenschaften, Bd. I. Leipz. 1779. 8. Bd. II. 1782. Bd. III. 1787. Bd. IV. 1792. 8.

20) Opuscoli fisico-chymici del Cavaliere M. Marsilio Landrianii. Milano 1781. 8.

21) Sammlung physisch-mathematischer Abhandlungen, von G. G. Schmidt. Bd. I. Giesen 1793. 8.

21) Beiträge zur Physik und Chemie, von H. F. Link. Rostok und Leipzig. St. I. 1795 St. II. 1796. 8.

23) J. C. Fischer's Geschichte der Physik, Götting. 1801 — 1805. 6 Thle. 8.

IV. Naturwissenschaftliche Zeitschriften.

1) Hamburgisches Magazin, oder gesammelte Schriften zum Unterricht und Vergnügen aus der Naturforschung und den angenehmen Wissenschaften überhaupt. Bd. I. — XXVI. Hamburg 1747 — 1763. 8. Neues Hamburgisches Magazin. Hamb. 1767 u. f. 8.

2) Observations sur la Physique, sur l'Histoire naturelle et sur les Arts, par M. l'Abbé Rozier, M. Mongez et de la Métherie. T. I — XLIII. A Paris 1773 — 1793. 4.

3) Journal de Physique, de Chymie et d'Histoire naturelle par Jean Claude La Métherie T. I. A Paris, an 2. 4.

4) Bibliotheca fisica di Europa, di L. Brugnatelli. Pavia. T. I. — XX. 8.

5) Giornale fisico-medico di L. Brugnatelli. Pavia. T. I. 1794. 8.

6) Magazin für das Neueste aus der Physik und Naturgeschichte, herausgegeben von Lichtenberg Bd. I — III. Gotha 1781 — 86. Fortgesetzt v. Voigt. Bd. IV. 1786 bis Bd. X. 1796. 8. u. f.

7) Lorenz Crell chemisches Journal Thl. I. Lemgo 1778 bis Thl. VI. 1781. 8.

8) Ebendesselben neueste Entdeckungen in der Chemie. Thl. I. Leipz. 1781. bis Thl. XII. 1784. 8.
9) Ebendesselben chemische Annalen. Helmstädt und Leipz. 1784. 8.
10) Ebendesselben Beiträge zu den chemischen Annalen Bd. I. Helmst. und Leipz. 1786. 8. — Bd. V. 1792. u. f.
11) Annales de Chymie ou Recueil de Mémoires concernant la Chymie et les Arts par M. M. de Morveau, Lavoisier, Monge, Berthollet, de Fourcroy, le Baron de Dieterich, Hassenfratz et Adet T. I. A Paris 1789 bis T. XVIII. 1793. 8.
12) Journal der Physik; herausgegeben von Dr. Fr. Alb. C. Gren. Bd. I. Halle und Leipzig 1790 — Bd. VIII. 1794. 8.
13) Neues Journal der Physik, herausgegeben von Dr. F. Albr. Carl Gren. Band I. Leipz. 1795 — Bd. IV. 1798.
14) Annalen der Physik, herausgegeben von Dr. F. A. C. Gren; fortgesetzt von L. W. Gilbert (Erscheint seit 1799. und wird immerwährend fortgesetzt.)
15) Die Schriften der Gesellschaft naturforschender Freunde in Berlin, welche seit 1775 unter verschiedenen Titeln erschienen sind.
16) Scherer's allgemeines Journal der Chemie Bd. I. — VI. Leipz. 1798 — 1801. VII — X. Bd. Berlin 1801 — 1803. 8.
17) Neues allgemeines Journal der Chemie, herausgegeben von Gehlen. 6 Bde. Berl. 1803 — 1806. 8.
18) Journal für Chemie und Physik, herausgegeben von Gehlen. Berl. von 1806 an.
19) J. S. C. Schweigger's neues Journal für Chemie und Physik. Nürnberg. 8. (Wird fortgesetzt.)
20) Bulletin des Neuesten und Wissenswürdigsten aus der Naturwissenschaft. Herausgegeben von Hermbstädt. Berl. 1809. 8.

21) Repertorium des Neuesten und Wissenswürdigsten aus der gesammten Naturkunde. Berl. 1811. gr. 8. (w. fortgef.)

22) K. W. H. Kastner's deutscher Gewerbsfreund. Halle 1816. 4. (Wird fortgesetzt.)

Zweites Kapitel.

Allgemeine Grundbegriffe und Grundlehren von dem Körperlichen überhaupt.

In diesem Kapitel wird zuerst das Materielle überhaupt, sodann die dynamische und atomistische Ansicht der Natur betrachtet, woran sich die nähere Entwickelung der allgemeinen Eigenschaften der Körper und der verschiedenen Verhältnisse der Dichtheit anreihet. Den Schluß bildet sodann eine Uebersicht der verschiedenen Aggregatzustände, unter welchen uns die sämmtlichen Naturkörper erscheinen.

§. 1.

Das Körperliche überhaupt. Der mathematische und physische Körper.

I. Da die Naturwissenschaft die Erscheinungen der äußern Sinnenwelt zum Gegenstande hat, so ist der Begriff von dem Materiellen oder von dem physischen Körper ihr allgemeiner Grundbegriff. Dieses Materielle oder physisch-Körperliche gibt sich uns nur dadurch zu erkennen: daß es auf die äußern Sinne einwirkt. So nennt man z. B. den Stein, dessen Druck man empfindet, das Wasser und die Luft, deren Widerstand wir wahrnehmen, physische Körper. Es ist klar, daß diese Bestimmung des Ma-

teriellen nur von der äußerlich sinnlichen Erfahrung hergenommen ist. Denn, was das Körperliche von sich selber sey, kann die bloß sinnliche Erkenntniß desselben nicht entscheiden.

II. Da jeder physische Körper in einem bestimmten Raume enthalten ist, so nennt man diesen Raum das Volumen des Körpers oder den mathematischen Körper. Man kann demnach bei jedem physischen Körper seine Materie und sein Volumen unterscheiden Materie nennt man dasjenige, was den Raum des physischen Körpers erfüllt; Volumen dagegen ist der Raum, welcher durch jenes Materielle erfüllt wird.

III. So gewiß es ist, daß wir das Materielle nur durch seine Wirkung auf die äußern Sinne erkennen: so entschieden ist es auch, daß das Streben des Geistes immer weiter reichet, als diese bloß sinnliche Erkenntniß. Der Geist sucht sich über die Empfindung zu erheben, und ihre Gründe nicht mehr in der Empfindung selbst, sondern im Begriffe aufzufinden. Daher entstand auch, in Bezug auf die wissenschaftliche Erkenntniß des Materiellen, die Frage: *aus welchen höhern Gründen können wir das Wesen der Materie, ihre Entstehung und Mannigfaltigkeit, ableiten?* Zur Beantwortung derselben wurden zwei verschiedene Ansichten der Natur aufgestellt, die dynamische und die atomistische, deren Grundlehren nun kürzlich entwickelt werden sollen.

§. 2.

Die dynamische und atomistische Ansicht der Natur.

I. Die Grundsätze, worauf die dynamische Natur-Ansicht beruht, sind folgende. Alle physische Körper, welche man von außen in engere Räume zusammenzupressen strebt, leisten mehr oder weniger Widerstand. Dies lehrt die Erfahrung an allen festen und liquiden Körpern; eben so ist es auch von den luftförmigen bekannt, welche sich zwar anfangs bedeu=

tend comprimiren lassen, dann aber stufenmäßig größern Widerstand leisten. Bei diesem Zusammenpressen nimmt der Widerstand der Körper dergestalt zu, daß keine irdische Kraft im Stande ist, jene durch diesen Zusammendruck aus ihrem Raume zu verdrängen, d. h. sie gänzlich zu zernichten. Da dieser Widerstand als eine Kraft anzusehen ist, welche der Zusammenpressung entgegen wirkt: so nehmen die Dynamiker in jedem physischen Körper eine zurückstoßende, oder repulsive Kraft an, welche somit einen Theil ihres Wesens bildet.

II. Wirkte aber lediglich diese Repulsivkraft in den Theilchen der Materie, so müßten dieselben, dieser Kraft folgend, sich immer mehr und mehr von einander entfernen, d. h. sich ins Unendliche zerstreuen. Daher kann, nach der Ansicht der Dynamiker, eine bloße Repulsivkraft das Wesen der Materie nicht bestimmen.

III. Es muß daher noch eine zweite Kraft angenommen werden, welche jener repulsiven entgegen wirkt, dieselbige ausgleicht und hierdurch die Zerstreuung des Materiellen ins Unendliche verhindert. Diese Kraft nennen die Dynamiker die Anziehungs- oder Attractivkraft; deren Daseyn durch unzählige Erfahrungen, z. B. durch die Erscheinungen der Cohärenz und Adhäsion außer Zweifel gesetzt ist.

IV. Allein die bloße Anziehungskraft kann wiederum das Materielle nicht bilden, da, durch ihre Alleinwirkung, die Theilchen sich immer mehr annähern, und folglich in einen mathmeatischen Punct zusammenfließen müßten, wodurch das Materielle aufgehoben würde. Daher geht das Körperliche aus einer Wechselwirkung der Repulsivkraft und der Attractivkraft hervor; welche die Dynamiker eben deßhalb, weil nur durch ihre gegenseitige Beschränkung das Körperliche denkbar ist, die Grundkräfte der Materie nennen.

V. Da es weder eine größte, noch eine kleinste Kraft gibt, so kann es auch weder einen größten noch einen kleinsten Körper geben. Das Materielle ist demnach, wie die Kräfte selbst, welche es bilden, eine stä-

tige Größe, und daher auch in das Unendliche, (möglicherweise) theilbar.

VI. Die beiden Grundkräfte können nach einem unendlich verschiedenartigen Wechselverhältnisse gegen einander wirken, und jede dieser individuell verschiedenen Wechselwirkungen erzeugt eine andere Materie. Daher ist die große Verschiedenheit des Materiellen in der Natur eine leichte Folgerung aus dem Systeme der Dynamiker. Auf gleiche Weise erklären sie auch den verschiedenen Grad von Dichtheit, worunter alle Körper der Sinnenwelt erscheinen. Wirken die beiden Grundkräfte mit größerer Intensität, so entsteht eine dichtere; bei geringerer Intensität aber eine weniger dichte Masse.

VII. Die Ansicht der Atomisten ist dieser dynamischen Lehre gerade entgegengesetzt. Sie erklären die Entstehung des physischen Körpers aus dem Daseyn und der Zusammensetzung der Atome, d. h. derjenigen körperlichen Urtheilchen, welche die absolut kleinsten und daher nicht mehr ferner theilbar sind. Die Verschiedenartigkeit des Materiellen leiten sie aus der Verschiedenheit jener Atome, oder aus der Verschiedenheit ihrer Zusammensetzung, oder aus beiden zugleich ab. Jene Masse heißt nach ihnen eine dichtere, welche in dem nämlichen Raume eine größere Menge von Atomen vereinigt. Ferner ist nach dieser Ansicht der Körper nicht als eine stätige Größe, sondern als eine unterbrochene anzusehen.

VIII. Wirft man einen prüfenden Blick auf beide Ansichten, so gewinnt man die Ueberzeugung: daß uns keine einen befriedigenden Aufschluß über den Ursprung und über das Wesen der Materie gibt. Die Grundkräfte der Dynamiker sind bloße Verstandesbegriffe, und das, was aus ihrer idealen Wechselwirkung entspringt, überschreitet nie den Kreis des Geistigen, und wird somit niemals als etwas physisch-Körperliches hervortreten. Auch folgt aus dem Gegensatze dieser Grundkräfte, daß beide, wenn sie einander gleich an Intensität wären, sich gänzlich aufheben und zernichten — wären sie aber ungleich, bloß

nach ihrer Differenz wirken müßten; wo dann aus der nunmehr übrig bleibenden einzigen Kraft nichts Materielles erzeugt werden könnte. Aber auch die atomistische Lehre lößet das schwere Problem nicht. Die Atome, als die kleinsten körperlichen Anfänge, sind nur der Größe nach, somit nicht wesentlich, von den Körpern selbst verschieden, deren Entstehung aus ihnen nachgewiesen werden soll. Auch weiß man nichts von ihrer Größe, oder Gestalt, oder physischen Eigenschaft; und die Mannigfaltigkeit der Naturkörper kann nur gezwungen aus dieser Lehre abgeleitet werden.

IX. Demungeachtet muß man beyden Ansichten einige Brauchbarkeit zugestehen. In der ganzen Natur herrscht das Gesetz von Kraft und Gegenkraft, von Wirkung und Gegenwirkung; so, daß man sich nicht einmal die Wirkung einer Kraft ohne einen Widerstand gedenken kann. Will man dies allgemeine Grundgesetz von Wirkung und Gegenwirkung ein dynamisches nennen, und dasselbe etwa durch Anziehungs- und Repulsivkraft symbolisiren: so muß dieses Jedem verstattet seyn, welcher so weit in Erforschung der Natur gekommen ist, daß er sich selber zur wissenschaftlichen Ansicht erheben kann. Nun entsteht diese Theorie aus der schon vorhandenen Praxis; ist aber selber nicht so fruchtbar, daß aus ihr das Practische entwickelt werden könnte. — Auf ähnliche Weise gewährt auch die atomistische Ansicht bisweilen nützliche Dienste. Der Begriff der Dichtheit z. B. läßt sich weit faßlicher atomistisch, als dynamisch entwickeln. Daß ein Körper noch einmal so dicht, als ein anderer sey, wenn er, im gleichen Raume mit ihm, die doppelte Menge von Materie enthält, ist gemeinverständlich; daß aber diese doppelte Dichtheit eine Folge von der doppelten Intensität der beiden Urkräfte sey, wird niemandem so klar einleuchten. — Daher müssen wir aufrichtig gestehen, daß uns das Wesen der Materie unbekannt ist; und daß wir uns befriedigen müssen, die Erscheinungen des Körperlichen, ihre Gesetzmäßigkeit und, wo uns dieses vergönnt ist, ihren Grund zu erforschen.

§. 3.

§. 3.

Allgemeine Eigenschaften der Materie: Undurchdringlichkeit, Ausdehnung, Theilbarkeit, Beweglichkeit, und Schwere.

I. Man nennt diese Eigenschaften des Materiellen allgemeine, weil sie jedem physischen Körper, so verschieden er sich auch sonst unsern Sinnen darbietet, in gleichem Maaße ohne Unterschied zukommen. Undurchdringlichkeit heißt jene Eigenschaft, vermöge welcher jeder Körper der Natur seinen Raum mit solcher Festigkeit behauptet: daß keine, auch noch so große, äußere Kraft im Stande ist, ihn durch Compression zu zernichten. Auch die feinsten körperlichen Stoffe z. B. unsere atmosphärische Luft und die übrigen Gase, sind undurchdringlich. Sie können zwar in bedeutend engere Räume zusammengepreßt werden; aber so, wie sich dieser Raum vermindert, wächst auch ihr Widerstand an, und keine irdische Kraft vermag es, sie gänzlich aus ihrem Raum zu verdrängen. Wenn man z. B. gleiche Volumen *von reinem* Wasser und reinem Weingeiste zusammen*mischt,* so nimmt die Mischung einen etwas kleinern Raum, als die Summe beider Volumen ein; und es könnte scheinen, als ob sich beide Materien, zum Theile wenigstens, durchdrungen hätten: doch der Einwurf schwindet, wenn man bedenkt: daß aus der Auflösung des Wassers und Weingeistes eine ganz neue Materie entstanden ist, welcher eben deshalb ein neues Maaß von Dichtheit entspricht. Eben so wenig läßt sich aus dem Emporsteigen des Oels in dem Dochte der Lampe, oder der Säfte in den Gewächsen, auf eine Durchdringung der Materie schließen: weil diese Flüssigkeiten nur in die feinen Zellen durch die Wirkung der Anziehungskraft übertreten.

II. Auch die Ausdehnung muß als allgemeine Eigenschaft des Materiellen genannt werden. Denn man kann sich keinen physischen Körper denken, welcher nicht im Raume enthalten wäre. Da nun

jeder Körper sich nach drei Hauptrichtungen erstreckt, welche man Länge, Breite und Tiefe nennt: so muß auch jeder Körper eine bestimmte Form haben, welche aus der Begrenzung seiner Materie hervorgeht. Die Formen der Naturkörper sind, obwohl sie dem Auge in größern Massen meist unregelmäßig erscheinen, dennoch ursprünglich regelmäßig gebildet. Man nennt diese geregelten Formen die Crystalle, und jenen Proceß, welcher sie bildet, die Crystallisation. Von beiden wird weiter unten gehandelt.

III. Auch die Theilbarkeit muß als allgemeine Eigenschaft der Materie genennt werden. Sie ist die Fähigkeit jedes Körpers, in kleinere Theile zerlegt zu werden; die wirkliche Zerlegung heißt sodann die Theilung des Körpers. Die Erfahrung lehrt, daß alles Materielle entweder durch Kräfte der Natur oder durch Beihülfe der Kunst in sehr kleine Theile zertheilt werden kann. Diese Theilung ist entweder eine chemische, oder eine mechanische. Jene besteht darin, daß ein Körper in seine heterogenen Bestandtheile zerlegt wird, und beruht auf der Wirkung jener Anziehungskräfte, welche in den kleinsten Theilchen wirksam sind. So besteht z. B. der Gyps aus Kalkerde und Schwefelsäure; die Kreide aus Kalkerde und Kohlensäure; die atmosphärische Luft aus Sauerstoffgas, Stickgas und aus kohlensaurem Gase; das Wasser aus Sauerstoff und Wasserstoff, u. s. w. Die Theilung heißt eine mechanische, wenn sie durch Anwendung äußerer Kräfte, z. B. durch Stoßen, Schlagen, Zerreiben u. dgl. bewirkt wird. Durch sie wird das Größere nur in das, ihm gleichartige, Kleinere; nicht aber in das ihm ungleichartige vertheilt. Sowohl die mechanische, als die chemische Theilung können auf eine erstaunenswürdige Weise weit getrieben werden. Aus wenigen Granen Goldes kann durch blosses Hämmern eine große Fläche gebildet werden. Wenn eine Silberstange vergoldet, und sodann durch immer engere runde Oeffnungen gezogen wird, bis diese endlich zur Feinheit eines Haares sich verdünnen: so erhält man einen ungemein langen,

äußerst feinen Golddrath, welcher rings umher mit sichtbaren Goldtheilchen bedeckt ist. Die feine Zertheilung vieler Körper durch Hülfe der Wärme gehört auch hierher. So erfüllt z. B. ein Gran Weihrauch, auf eine brennende Kohle gelegt, ein ganzes Zimmer mit Wohlgeruch. Wie außerordentlich fein diese riechbaren Theilchen seyen, kann ungefähr dadurch erläutert werden: daß man die Zahl der Cubiklinien berechnet, welche den Inhalt dieses Zimmers bilden, und nun in jeder derselben nur einige dieser Theilchen annimmt. Auf ähnliche Weise kann man mit einer kleinen Menge von Carmin eine bedeutende Wassermasse blaßroth färben, und ungefähr die sichtbaren Tröpfchen berechnen, welche die ganze Masse bilden. Auch die organische Natur bietet Beispiele von ungemein kleinen lebenden Wesen dar; z. B. die Infusionsthierchen, welche sich in jedem Tröpfchen einer Flüssigkeit zeigen, welche man über einen vegetabilischen Körper gegossen, und einige Tage mit ihm in Berührung gelassen hat. Nach Rechnungen, welche auf die Vergrößerungskraft der Microscope gegründet sind, müssen diese Thierchen viele Millionenmal kleiner, als kleine Sandkörnchen seyn. Von welcher außerordentlichen Kleinheit müssen nicht ihre Bestandtheile seyn, da sie Nahrung zu sich nehmen, wachsen und allmählig sich ausbilden!

IV. Die Beweglichkeit, d. h. das Vermögen der Körper, ihren Ort zu verändern und so im Raume fortzuschreiten, ist ebenfalls eine allgemeine Eigenschaft des Materiellen. Die Bewegung ist sodann die wirkliche Ortsveränderung. Jeder Körper er sey noch so groß, oder noch so klein, ist beweglich, und die wirkliche Bewegung aller Erdkörper ist schon eine Folge von der täglichen Achsendrehung der Erde. Jede Bewegung ist aber eine Wirkung, und muß aus einer wirksamen Ursache hervorgehen, welche man die bewegende Kraft, oder auch die Bewegkraft nennt. Die Erforschung der Bewegung und ihrer Gesetze ist dem Naturkundigen von größter Wichtigkeit: da sie die allgemeine Bedingniß zu

jeder Naturerscheinung bildet. Kein Phänomen, so auffallend oder so geringfügig es sey, kann ohne Bewegung statt finden. Wenn z. B. Salz und Wasser in Auflösung begriffen sind, so müssen sich die Salztheilchen gegen die Wassertheilchen, und umgekehrt, diese gegen jene bewegen. Nähme man eine vollkommene Ruhe unter ihnen an, so könnte die innige Vermischung beider nicht vollbracht werden. Ohne Bewegung wäre die gesammte Sinnenwelt starr und todt; nur die Bewegung kann ihr Leben und Mannichfaltigkeit verleihen.

V. Jeder Körper hat das Streben: sich, wenn ihm seine Unterstützung geraubt wird, in gerader Linie dergestalt abwärts zu bewegen, daß diese Richtung sich gegen den Mittelpunkt der Erde hin erstreckt. Sowohl dieses Fallen, als auch der Druck, welchen jeder Körper auf die Unterstützung äußert, welche ihn trägt, ist die Folge einer Kraft, welche man die Schwere oder die Schwerkraft nennt. Sie bildet eine allgemeine Eigenschaft der Naturkörper: da wir sie an den festen und liquiden Materien sehr auffallend und gewöhnlich, aber auch an den luftförmigen Stoffen überzeugend erkennen. Jene Linien, nach welchen die sich selbst überlassenen Körper fallen, heißen senkrechte oder lothrechte Linien; und jene Ebene, worauf sie senkrecht stehen, wird eine wagrechte oder horizontale Ebene genannt. Gerade Linien, welche in diesen letztern gezogen sind, heißen wagerechte oder Horizontallinien. Hieraus folgt, daß das Wagrechte durch das Lothrechte seine Bestimmung erhalte; dieses letztere aber, als etwas Gesetzmäßiges, in der Natur gegeben sey. Dieses Gesetz sagt: die Richtungen der Schwere bilden gerade Linien, welche in ihrer Verlängerung sich im Mittelpunkte der Erde vereinigen würden. Gleichwie jeder aus dem Mittelpunkt einer Kugel gezogene und über ihre Oberfläche verlängerte Halbmesser auf dieser Oberfläche, obwohl sie gekrümmt ist, lothrecht steht: so verhält es sich auch eben so mit den Richtungen der Schwere in Bezug auf die Oberfläche der Meere,

welche, als Theile der Erdfläche, ebenfalls gekrümmt sind. Wollte man gegen die Schwerkraft des Körperlichen den Einwurf machen „daß manche Hölzer, sich selbst überlassen, im Wasser empor steigen; so wie sich der Rauch in der ruhigen atmosphärischen Luft meistens erhebt“: so bedenkt man nicht, daß dieses Aufsteigen eine Folge der Schwerkraft selbst ist, indem nach einem bekannten (weiter unten mehr zu entwickelnden) Gesetze der Natur der specifisch leichtere Körper in dem schwerern liquiden emporsteigen muß.

VI. Noch sind hier folgende, mit dem Bisherigen sehr verwandte Begriffe zu entwickeln. Materie bezeichnet überhaupt dasjenige, was unsere Sinne zu afficiren im Stande ist. Die Menge dieser Materie in einem bestimmten Raume heißt die Masse, und der Druck, welcher aus dieser Masse hervorgeht, das Gewicht des Körpers. Die Erfahrung lehrt: daß Körper von gleichem Raume, z. B. zwei gleich große Kugeln von Zinn und von Blei, einen sehr verschiedenen Druck auf unsere Hand oder auf die Wage äußern, worauf sie ruhen. Daher sagt man, diese Körper besitzen ein verschiedenes Gewicht; und schreibt das größere Gewicht der größern Menge der Materie zu, welche in dem Raume dieses gewichtigern Körpers enthalten ist. Umgekehrt ist die Zinnkugel deshalb von kleinerm Gewichte, weil sie in ihrem Raume weniger Materie enthält, als die bleierne. Obwohl nun diese beiden Kugeln verschiedenes Gewicht haben, so sind sie dennoch gleich schwer zu nennen. Denn eine würde wie die andere, mit gleicher Geschwindigkeit im luftleeren Raume herabfallen, wenn man ihnen ihre Unterstützungen raubt. Daß aber die Bleikugel, welche mit der Zinnkugel von gleicher Höhe herabfällt, den Boden früher berührt, als jene, kömmt von dem Widerstande der Luft her, welchen jene mehr überwindet, als diese. Daher kann man sagen „Alle Körper sind gleich schwer“; obwohl dieselben, nach gleichen Räumen betrachtet, beinah alle verschiedenes Gewicht haben.

VII. Hierauf beruhet der wichtige Unterschied zwischen dem absoluten und respectiven Gewichte, welches letztere man auch die specifische Schwere zu nennen pflegt. Das absolute Gewicht ist jener Druck, welchen ein Körper, ohne Rücksicht auf die Größe seines Volumen, auf die Unterstützung äußert, welche ihn trägt. Dieser Druck wird am Genauesten durch die Wage bestimmt, und es ist in dieser Hinsicht einerlei, ob der Druck eines Pfundes von einem Steine oder von irgend einem Metalle veranlaßt wird. Nimmt man dagegen bei dem Gewichte eines Körpers zugleich auf sein Volumen Rücksicht: so entsteht hieraus der Begriff seines specifischen Gewichtes oder der specifischen Schwere. Man nennt nämlich jenen Körper specifisch schwerer, als einen andern, welcher in gleichem Raume mit ihm, einen größern Druck auf die Wage äußert. So ist z. B. das Quecksilber ungefähr vierzehnmal specifisch schwerer, als das reine Wasser, weil der Druck eines Cubikzolls Quecksilber etwa vierzehnmal so stark ist, als der eines Cubikzolls Wasser; oder, was einerlei ist, weil vierzehn Cubikzolle reines Wasser so viel wiegen, als ein Cubikzoll Quecksilber. Könnte man alle Naturkörper genau auf gleiche Räume bringen, so dürfte man nur ihre Gewichte durch scharfe Wagen bestimmen, um ihre specifische Schwere zu erhalten.

§. 4.

Begriff der Dichtheit und ihrer Verhältnisse. Porosität der Körper.

I. Aus den seither entwickelten Lehren geht der Begriff der Dichtheit hervor, welcher kein absoluter, sondern ein relativer ist. Wenn man nur die Masse eines Körpers, nach einem bekannten Gewichte bestimmt, kennt, so weiß man noch nicht den Grad ihrer Dichtheit anzugeben. Wäre aber bloß das Volumen bekannt, in welchem sich der Körper befindet, so

könnte eben so wenig dessen Dichtheit ermessen werden. Daher geht dieser Begriff nur aus dem Verhältnisse von beiden hervor; d. h. die Dichtheit eines Körpers wird bestimmt seyn, wenn die Größe seiner Masse und die Größe seines Volumen bekannt ist.

II. Hieraus ist klar, daß, bei gleichen Volumen, jener Körper der dichtere seyn müsse, welcher die größere Masse enthält: auch erkennt man zugleich, daß hier bei der doppelten Masse auch die doppelte Dichtheit, bei der dreifachen Masse die dreifache Dichtheit, oder bei der halben Masse nur die Hälfte der Dichtheit vorhanden ist. Daher entsteht das

Erste Gesetz: Die Dichtheiten zweier Körper von gleichen Volumen stehen im geraden Verhältnisse ihrer Massen. Nennt man die Dichtheiten D und d, die Volumen V und v, und die Massen M und m, so ist $D : d = M : m$.

III. Hätte man gleiche Massen in verschiedenen Volumen, so ist klar, daß jener Körper der dichtere sey, welcher dieselbige Masse in einem kleinern Raume enthält; der andere aber, welcher eben diese Masse in einem größern Volumen einschließt, wird der weniger dichte seyn. Auch erkennt man sogleich, daß die Dichtheit da zwei — drei — viermal so groß sey, so die nämliche Masse sich in der Hälfte oder in dem Drittheil, oder in dem Vierttheil des vorigen Raumes befindet. Dieses gibt das

Zweite Gesetz: Die Dichtheiten zweier Körper von gleichen Massen stehen im umgekehrten Verhältnisse ihrer Volumen. Oder hier tritt die Proportion ein $D : d = v : V$.

IV. Wenn die beiden Körper, deren Dichtheit zu vergleichen ist, verschiedene Räume und verschiedene Massen haben, so nehme man einen dritten Körper zur Vergleichung an, dessen Dichtheit $= S$, dessen Masse $= M$ und dessen Volumen $= v$ ist. Da dieser Körper mit dem einen der beiden gegebenen die Masse, mit dem andern aber das Volumen gemein hat, so entstehen folgende zwei Proportionen:

$D : S = v : V$ wegen $M = m$ (zweites Gesetz)
und $S : d = M : m$ wegen $V = v$ (erstes Gesetz)

folglich ist auch

$D : d = M \times v : m \times V$. Dieses gibt das Dritte Gesetz: Wenn sowohl die Volumen als die Massen zweier Körper verschieden sind, so stehen ihre Dichtheiten im zusammengesetzten Verhältnisse aus dem Geraden ihrer Massen in das Umgekehrte ihrer Volumen. Um diese Produkte in Zahlen bilden zu können, müssen sowohl die Massen, als auch die Volumen beider Körper durch Zahlenwerthe angegeben seyn.

V. Setzte man in Nr. IV. die Dichtheiten beider Körper einander gleich, so wäre $D = d$ und daher auch $M \times v = m \times V$, woraus man die Proportion $M : m = V : v$ erhält. Dies heißt mit andern Worten: die Dichtheiten zweier, sowohl an Volumen, als auch an Masse verschiedener Körper werden einander gleich seyn, wenn ihre Massen in geradem Verhältnisse ihrer Volumen stehen; ein Satz, dessen Richtigkeit von selbst schon einleuchtend ist, indem z. B. ein größeres und ein kleineres Stück von demselbigen Metalle, unter gleichen Umständen betrachtet, obwohl beide an Masse und Volumen verschieden sind, dennoch dieselbige Dichtheit besitzt.

VI. Noch sind hier nachstehende Formeln zu bemerken, welche sehr leicht aus dem Vorhergehenden abgeleitet werden:

Erstlich: $M = D \times V$, d. h. die Masse eines Körpers kann durch ein Produkt aus seiner Dichtheit in sein Volumen dargestellt werden. Dies will nicht so viel sagen, als könnte man die Dichtheit als solche, mit dem Volumen, als solchem, multipliciren, welches, da beides benannte Zahlen sind, unmöglich wäre. Man betrachtet vielmehr die Dichtheit und das Volumen nur nach ihrem Zahlenwerthe bestimmt, wodurch sodann auch die Masse auf ähnliche Weise bestimmt wird. Wäre z. B. bei gleicher

Dichtheit das Volumen noch einmal so groß, so müßte auch die Masse noch einmal so groß seyn; eben dieses würde Statt haben, wenn bei demselbigen Volumen die Dichtheit noch einmal so groß würde. Auf gleiche Weise läßt sich dieses auch bei der Verminderung von Volumen und Masse, oder bei der Vermehrung des einen und Verminderung des andern Factors nachweisen.

Zweitens. $D = \frac{M}{V}$ d. h. die Dichtheit eines Körpers kann als der Quotient aus dessen Masse durch sein Volumen ausgedrückt werden. Auch dieses wird klar, wenn man bedenkt, daß z. B. bei der nämlichen Masse und dem doppelten Volumen die Dichtheit um die Hälfte kleiner; bei derselbigen Masse und dem halben Volumen aber noch einmal so groß werden müsse. Umgekehrt wird die Dichtheit z. B. bei der doppelten Masse und demselbigen Volumen noch einmal so groß; bei der halben Masse und dem nämlichen Volumen aber nur halb so klein seyn. u. s. w.

Drittens $V = \frac{M}{D}$ d. h. der Werth des Volumens wird gefunden, wenn man den Quotienten aus der Dichtheit in die Masse bildet. Auch dieses Verhältniß ist leicht zu übersehen. Denn wenn bei gleicher Masse die Dichtheit größer wird, so vermindert sich das Volumen; wird aber bei eben dieser Masse die Dichtheit kleiner, so muß das Volumen so viel mal größer werden u. s. w.

VI. Der Dichtheit der Materie steht ihre Porosität entgegen. Da nämlich kein körperlicher Raum dergestalt mit Materie erfüllt ist, daß durchaus keine Zwischenräume in ihm vorhanden sind: so kann man sagen, daß alle Körper porös sind. Die Porosität ist demnach jene Eigenschaft des Körperlichen, vermöge deren jede Materie Zwischenräume enthält, welche nicht selbst wiederum mit eben dieser Materie angefüllt sind. Hieraus folgt, daß alle Verhältnisse, welche bisher von der Dichtheit entwickelt wurden, auch auf die Lockerheit, nur umgekehrt, angewendet werden können. Man nennt nämlich Körper von ge-

ringerer Dichtheit z. B. das Korkholz, die Schwämme u. s. f. poröse oder lockere Körper, weil die große Menge ihrer Zwischenräume schon mit freyem Auge erkennbar ist. Aber auch dichtere Körper zeigen, in dünnen Blättchen, dem bewaffneten Auge, solche Zwischenräume; so daß man die Porosität wahrscheinlich als allgemeine Eigenschaft der Körper aufstellen kann.

§. 5.

Uebersicht des Aggregatzustandes der sämmtlichen Naturkörper.

I. Die Körper unserer Sinnenwelt erscheinen unter höchst mannigfaltigen Aggregatzuständen, zu deren bequemerer Uebersicht folgende Hauptabstufungen zu bemerken sind. Man versteht nämlich unter Form der Aggregation oder unter dem Aggregatzustande des Körpers die Art und Weise, wie uns derselbe hinsichtlich des Zusammenhangs und sonstigen Verhaltens seiner Theilchen erscheinet; z. B ob er fest, oder liquid, oder luftförmig gestaltet ist, u. s. w.

II. Feste Körper sind solche, welche in ihren Theilen einen bemerkbaren Zusammenhang zeigen; so, daß man eine wahrnehmbare Kraft anwenden muß, um diesen Zusammenhang aufzulösen, z. B. die Metalle, Steine, Hölzer u. s. w. Der Begriff der Festigkeit ist kein absoluter, sondern wir müssen zu dessen Bestimmung die durch unmittelbare Wahrnehmung erkannte Festigkeit eines Körpers zum Grunde legen, um die Grade der Festigkeit anderer Materien hiernach bestimmen zu können. Wir kennen keinen absolut festen Körper in der Natur; da alle, theils durch mechanische, theils durch chemische Mittel zerlegt werden können. Auch lehrt die Erfahrung, daß die Festigkeit sehr viele Stufen und allmähliche Uebergänge habe. So nennen wir z. B. jene Körper harte, bey welchen man eine sehr bedeutende Kraft zur Trennung ihrer Theile anwenden muß; dergleichen sind der Diamant, gehärteter Stahl, u. s. w. Selbst unter diesen harten Körpern hat wiederum eine Stu-

fenreihe Statt. **Weiche Körper** heißen solche feste Materien, deren Theile nur sehr unbedeutend unter sich zusammenhängen, z. B. das weiche Wachs, der weiche Thon, u. s. f. Auch die Weichheit hat verschiedene Grade; auf der einen Seite nähern sich die weichen Körper stufenmäßig den harten, auf der andern Seite aber den liquiden. Einen sehr bedeutenden Einfluß auf diese Form äußert die Wärme, welche alle Materien durchdringt, und ihr Volumen mehr oder minder erweitert. So erscheint z. B. das Wachs in der Winterkälte als ein harter Körper, in warmen Sommertagen ist es weich, und einem gelinden Kohlenfeuer ausgesetzt, wird es zum liquiden Körper.

III. Auch ist hier der Unterschied zwischen **dehnbaren** und **spröden Körpern** zu bemerken. Einige feste Körper können durch Anwendung mechanischer Kräfte in ihren Theilchen sehr verschoben werden, ohne daß ihr Zusammenhang aufgelößt wird. Man nennt sie **dehnbare Körper**, und diese Eigenschaft die **Dehnbarkeit** oder die **Ductilität**. Gold und Silber bieten auffallende Beispiele dieser Dehnbarkeit dar, wie die Verfertigung der so überaus feinen Gold- und Silberdräthe beweiset. Auch ist die Dehnbarkeit des Kupfers bekannt genug, indem die Kupferbleche durch Hammerschläge in höchst verschiedene Formen gebracht werden können. Dieser Dehnbarkeit ist die **Sprödigkeit** entgegengesetzt. **Spröde** Körper sind jene, deren Theilchen sich nicht bedeutend verschieben lassen, ohne ihren Zusammenhang zu verlieren. Spießglanz, Arsenik, Wismuth, Glas, Eis u. dergl. sind bekannte Beispiele hiervon. Jene Metalle lassen sich unter dem Hammer nicht dehnen oder strecken, sondern werden in kleinere Stückchen zerbröckelt. Glas und Eis zerspringen oft an solchen Stellen, worauf der Stoß nicht unmittelbar eingewirkt hat. Von besonderer Sprödigkeit würden alle Glasgeräthe seyn, wenn sie nicht nach ihrer ersten Verfertigung in den sogenannten Kühlofen gesetzt, und so allmählig zur gewöhnlichen Temperatur der Luft gebracht würden. Wenn man z. B. eine kleine

Masse geschmolzenen Glases in kaltes Wasser wirft, so erstarren die Glastheilchen plötzlich, und erhalten, in dem kolbenförmig gestalteten, zu einem zarten Faden auslaufenden Körper eine solche Spannung: daß die leise Erschütterung, welche durch das Abbrechen dieser Spitze entsteht, die ganze Masse in feinen Staub aus einander sprengt. Man nennt diese Glaskörper Glastropfen, und ihr dickerer Theil ist so hart daß er ziemlich bedeutende Hammerschläge erträgt. — Auch in Bezug auf Dehnbarkeit und Sprödigkeit herrscht in der Natur keine scharfe Grenzlinie, sondern ein allmähliger Uebergang; so, daß es Körper gibt, welche zwischen den dehnbaren und spröden gleichsam das Mittel halten, z. B. das Zink.

IV. Ferner zeigen sich die festen Körper entweder als elastische, oder als unelastische. Elastische Massen sind jene, welche die Fähigkeit haben, von außen comprimirt zu werden, und nun, sich selbst überlassen, wiederum ihre vorige Gestalt einnehmen. Die Kugel von Elfenbein, welche von einer gewissen Höhe auf eine Marmorplatte herabfällt, erleidet durch den Stoß eine Veränderung ihrer Form: der senkrechte Durchmesser wird kleiner, der wagrechte aber größer. Sie beharrt jedoch nicht in dieser veränderten Gestalt, sondern stellt sich im nächsten Momente wiederum in die Kugelform zurück, wodurch ihr Zurückspringen bewirkt wird. Auch der gehärtete Stahl, der Marmor, die Federn und Haare der Thiere sind elastische Körper. Die Elasticität kömmt auch der atmosphärischen Luft und andern Gasen insofern zu, als diese Stoffe, in kleinere Räume zusammengepreßt, sich nachher wieder in das vorige Volumen zurückbegeben. Einen vollkommen elastischen Körper, d. h. einen solchen, bei welchem die Wiederherstellungskraft der comprimirenden gleich wäre, bietet uns die Natur nicht dar. Auch hier treten diese unmerkbaren Uebergänge ein, bis zu jenen Körpern, welche man beinahe unelastische nennen könnte, z. B. Thon, welcher an der Luft mäßig getrocknet ist. Obwohl man es als eine Bedingniß zur Wirkung der Elasticität

erkennt, daß gewisse Theilchen des zusammengepreßten Körpers einander mehr angenähert, andere dagegen wiederum mehr von einander entfernt werden: so ist uns doch der eigentliche Grund dieser merkwürdigen Eigenschaft verborgen.

V. Unter flüssigen Körpern versteht man jene, deren Theilchen mit einer kaum bemerkbaren Kraft unter sich zusammenhängen; so, daß solche sehr leicht von einander getrennt werden können. Die gewöhnlichsten Beispiele sind: Wasser, Oel Milch, atmosphärische Luft, Dämpfe u. s. w. Die Grenze zwischen den weichen und flüssigen Körpern ist ebenfalls nicht scharf gezogen und der Uebergang auch hier unmerklich. Das Wachs z. B. wird durch Einfluß der Wärme immer mehr und mehr erweicht, bis es bei einem gewissen Grade von Temperatur in den flüssigen Zustand tritt. Die Metalle gehen schneller aus dem Zustand der Festigkeit in jenen der Liquidität über, wenn man sie der nöthigen Hitze aussetzt. Die Flüssigkeiten sind aber von zweierlei Art; entweder tropfbar-flüssige, oder elastisch-flüssige Körper. Jene nennt man auch liquide, diese aber *luftförmige* Stoffe. Die tropfbaren Flüssigkeiten erkennt man daran, daß sie in kleinern Massen, sich selbst überlassen, kugelrunde Gestalten bilden, welche man Tropfen nennt; und dann auch die Fähigkeit nicht haben, auf bedeutende Weise zusammengepreßt zu werden; z. B. dienen Wasser, Bier, Milch, Oel, Wein, Quecksilber, u. s. w. Luftförmige oder expansible Körper sind aber solche, welche das Vermögen besitzen, durch äußere Druckkräfte in engere Räume gebracht zu werden, und die sich auch noch dadurch von den liquiden unterscheiden, daß sie eine weit größere Beweglichkeit und ein weit geringeres specifisches Gewicht, als jene, besitzen.

VI. Diese luftförmigen Stoffe erscheinen wiederum entweder als Dämpfe oder als Gase. Unter Dämpfen versteht man jene luftförmigen Körper, welche nur auf einen bestimmten Grad zusammengepreßt werden können, ohne ihre luftförmige Gestalt

zu verlieren. Wächst die Compression noch mehr, so werden sie zersetzt, d. h. sie hören auf, luftförmig zu seyn. Auch setzt ihre luftförmige Bildung einen bestimmten Grad von Wärme voraus. Wird ihnen dieser entzogen, so verlieren sie auch zum Theil wieder ihre expansible Form. Zum Beispiele dient der Wasserdampf, welcher sich aus dem Innern des kochenden Wassers in Blasengestalt erzeugt, und mit Gewalt durch dasselbe hervorbricht. Wird dieser Dampf in einem gehörig erhitzten Gefäße aufgefangen: so beweiset er sich als einen elastischen Körper, der aber durch bedeutende Compression wiederum seine Luftgestalt zum Theil verliert und als Wasser erscheinet. Läßt man diese Wasserdämpfe in ein Gefäß übertreten, welches unter der Kochhitze des Wassers erwärmt ist: so können sie auch darinn nicht luftförmig bestehen, sie werden zum Theil zersetzt, und es bildet sich wiederum liquides Wasser aus ihnen. Die G a s e oder p e r m a n e n t l u f t f ö r m i g e n Stoffe behaupten dagegen ihre Form bei jedem uns bekannten Grade der Kälte, und bei jeder uns seither möglichen Zusammenpressung. Sie sind demnach beständige luftförmige Stoffe, im Gegensatze mit den Dämpfen, genannt worden. Die atmosphärische Luft ist das bekannteste Beispiel davon; aber außer ihr gibt es noch mehrere andere gasförmige Körper z. B. das Sauerstoffgas, das Stickgas, das kohlensaure Gas, das Salpetergas u. s. w. Alle Dämpfe und Gase bestehen aus einer sogenannten B a s i s und aus der W ä r m e. Die B a s i s oder G r u n d l a g e ist jener, einfache oder zusammengesetzte Körper, welcher, wenn die Wärme gehörig auf ihn einwirkt, entweder zu einem Dampfe, oder zu einem Gase gebildet wird. Die Basis des Wasserdampfes ist also das Wasser, die Basis des Quecksilberdampfes das Quecksilber, die Basis des Sauerstoffgases der sogenannte Sauerstoff, des kohlensauren Gases die Kohlensäure u. s. w. Die Zersetzung des Dampfes oder des Gases ist eine Losscheidung seiner Basis von der Wärme, so daß jene, wie diese, nun merkbar hervortreten. Die Lehre

von den Dämpfen wird weiter unten folgen; die Betrachtung der Gaſe aber gehört der Chemie an.

VII. Noch verdienen hier die ſogenannten vier Elemente der Peripatetiker: Erde, Waſſer, Luft und Feuer, kürzlich erwähnt zu werden. Obwohl die neuere Chemie eine ſehr bedeutende Menge von einfachen Stoffen, woraus die Körper unſerer Sinnenwelt beſtehen, entdeckt hat, ſo ſind jene vier Elemente demungeachtet bedeutungsvoll. Die Erde kann nämlich als der allgemeine Stellvertreter der feſten Körper; das Waſſer als der Repräſentant der liquiden Stoffe; die Luft als der generiſche Ausdruck aller luftförmigen Materien, und das Feuer endlich als der allgemeine Ausdruck jener feinern Naturkräfte angeſehen werden, welche mit den Worden: Wärme, Licht, Electricität, Magnetismus ꝛc. bezeichnet werden.

Drittes Kapitel.

Erſcheinungen der Feſtigkeit, der Cryſtalliſation und der Adhäſion.

Der Gegenſtand dieſes Kapitels iſt: eine nähere Betrachtung der verſchiedenen Grade des Zuſammenhanges feſter Körper, ſodann jener regelmäßigen Geſtalten, welche ſie unter gewiſſen Bedingungen annehmen, und endlich jener mannigfaltigen Phänomene, deren Grund in dem Daſeyn der Adhäſionskraft zu ſuchen iſt. Alle dieſe Erſcheinungen gehen aus der Wirkung einer anziehenden Kraft hervor, welche in den kleinſten Theilchen der Materie wirkſam iſt; deren Geſetz uns öfters bekannt, deren Weſenheit aber verborgen iſt.

§. 1.

Festigkeit der Körper und ihre Bestimmung.

I. Die Bestimmung des verschiedenen Grades der Stärke, womit mancherley feste Körper in ihren Theilchen zusammenhängen, ist wichtig für die Theorie und für mannigfaltige praktische Anwendungen. Die Größe der Festigkeit wird durch jene Kraft bemessen, welche den Zusammenhang dieser Körper aufzuheben im Stande ist, und am bequemsten durch Gewichte bestimmt. Im Allgemeinen möchte es scheinen, als ob der dichtere Körper auch einen größeren Grad von Festigkeit besitzen müsse: weil seine Theilchen in innigerer Berührung stehen, und manche Erfahrungen lehren, daß die anziehende Kraft der Menge der gegenseitigen Berührungspuncte proportional ist. Doch lehren bekannte Versuche das Gegentheil, indem z. B. Bley, weit dichter als Eisen, von letzterem an Stärke vielmal übertroffen wird. Die Stärke der Cohärenz hängt demnach von andern Bedingungen ab, deren vollständige Kenntniß wir noch nicht besitzen.

II. Ueber den Zusammenhang der Metalle und mancherley Hölzer hat Muschenbroeck in seiner Introductio ad cohaerentiam corporum firmorum und in seiner Introductio ad philosophiam naturalem die Resultate vieler Versuche gesammelt. Er ließ von reinen Metallen viereckige Stängchen gießen, deren senkrechte Querschnitte Quadrate waren, welche $\frac{17}{100}$ eines rheinländischen Zolles im Gevierten betrugen, und verschiedne Länge hatten. Nachdem diese Stäbchen an einem Ende sehr wohl befestiget, an dem andern aber mit einer Wagschaale versehen waren, worauf man immer größere Gewichte bringen konnte, so wurden dieselben einmal nach der Breite aus einander gerissen. Das Gewicht, welches dieses bewirkte, bestimmte ungefähr das Maaß ihrer Cohärenz. Einige Resultate waren folgende:

Gold zerriß von 578 Pf. sein spec. Gewicht ist 19,238
Kapellensilber = 1156 = = = = = 11,091

Kup-

Kupfer zerriß von	638	Pf.	sein	spec.	Gewicht	ist	8,181
Japanisch Kupfer	573	=	=	=	=	=	8,726
Deutsches Eisen	1930	=	=	=	=	=	7,807
Englisches Zinn =	150	=	=	=	=	=	7,807
Englisches Bley =	25	=	=	=	=	=	11,333

Wurden diese Metalle nach dem Gusse gehämmert, so nahm ihre Cohärenz bis auf einen gewissen Grad zu; das weitere Hämmern aber verminderte sie wieder.

III. Die Resultate, welche Muschenbroeck über die Cohärenz mehrerer Holzarten gefunden hat, bei welchen die Stäbchen dieselbige Gestalt mit vorbemerkten Metallstäbchen hatten, waren nachstehende:

Buchenholz zerriß	von	1250	Pf.	sein	spec.	Gew.	0,852
Eschenholz	=	1250	=	=	=	=	0,734
Eichenholz	=	1150	=	=	=	=	0,929
Lindenholz	=	1000	=	=	=	=	0,604
Erlenholz	=	1000	=	=	=	=	0,800
Ulmenholz	=	900	=	=	=	=	0,600
Tannenholz =	=	600	=	=	=	=	0,550

Diese Versuche sind für mannigfaltige technische Anwendungen wichtig, obwohl man durch sie das genaue Maaß der Cohärenz nicht bestimmen kann.

IV. Der französische Naturforscher, Guyton Morveau hat bei cylindrischen Dräthen nachstehender Metalle, deren Durchmesser 0,887 Par. Linien betrug, folgende Resultate erhalten:

Eisen zerriß von	510,2	Par.	Pf.
Kupfer = =	280,7	=	=
Platina = =	254,7	=	=
Silber = =	173,8	=	=
Gold = =	193,3	=	=
Zink (dehnbar gemacht)	101,7	=	=
Zinn = =	32,1	=	=
Bley (nach der Bruchfl)	25,6	=	=
Bley (nach der erst. Dicke)	11,5	=	=

Man sehe hierüber Gilberts Analen der Physik v. J. 1810, 2tes Stück. Auch Büffon (in den Mem. de l'Acad roy. des sc. 1740.) hat hierüber lehrreiche Versuche angestellt, so wie Graf von Si-

kingen (Versuche über die Platina. Manh. 1782). nach welchem die Metalle, hinsichtlich ihrer Cohärenz, so auf einander folgen: Eisen, Kupfer, Platina, Silber, Gold.

Ferner sehe man die Abhandlung über den Widerstand fester hohler Körper, wenn sie durch äußere Kräfte zerbrochen werden, von G. G. Schmidt in Gren's neuem Journal der Physik. 4ter Bd. 2tes Heft; sodann:

Girard Abhandlung vom Widerstande fester Körper, übersetzt Kränke. Gießen, 1803 und:

Handbuch der Statik fester Körper, mit vorzüglicher Rücksicht auf ihre Anwendung in der Architectur, von Eytelwein. Berlin, 1808. 3 Bde. wovon der zweite über die Festigkeit der Hölzer viele Versuche enthält.

§. 2.

Kurze Darstellung der Lehre von der Crystallisation.

I. Die regelmäßigen Formen, worunter sehr viele feste Körper erscheinen, wenn zu ihrer Bildung die nöthigen Bedingnisse vorhanden waren, nennt man crystallinische Gestalten oder Crystalle. Bekannte Beyspiele geben die Salze: Kochsalz, Salpeter, Glaubersalz ꝛc. dann vielerley Fossilien z. B. der Bergcrystall und andere. Man nennt jenen chemischen Proceß, wodurch diese regelmäßigen Gestalten entweder in der Natur oder durch unsere Beyhülfe erzeugt werden, die Crystallisation.

II. Zur Bildung crystallinischer Formen gehören vor Allem folgende zwei Bedingungen: Liquidität und Ruhe. Der feste Körper, dessen Theile durch die vorherrschende Kraft der Cohärenz in ein Ganzes verbunden sind, muß in einen Zustand von leichter Beweglichkeit seiner Theilchen versetzt werden, damit diese der ihnen ursprünglich beiwohnenden Kraft der

gegenseitigen Anziehung ungehindert folgen können. Auch darf hiebei keine störende äußere mechanische Kraft einwirken. Denn da, wo diese Theilchen allzu heftig bewegt werden, wird auch diese Bewegkraft nicht verstatten, daß sich die Grundtheilchen des festen Körpers so zusammengruppiren können, wie das Gesetz ihrer Anziehung es fordert. Wenn z. B. eine Portion Kochsalz pulverisirt wird, so erkennt man an diesem Pulver keine Spur von regelmäßiger Form. Man verbinde dasselbe mit einer verhältnißmäßigen Menge reinen Wassers, so werden sich beide Stoffe auflösen, und das zuvor feste Salz wird nun in liquider Form erscheinen. Setzt man diese Flüssigkeit einer gelinden Wärme aus, so wird das Wässerige allmählich verdampfen; die Salztheilchen aber treten nach dem Gesetze ihrer ursprünglichen Anziehung so zusammen, daß sie regelmäßige Formen bilden. Man kann auf diese Weise alles Wasser verdampfen, und das feste Salz in crystallinischer Form enthalten. Brächte man das Salzwasser zum Kochen, so würde, wegen der heftigen Bewegung, womit die Dampfblasen aus dem Innern hervorbrechen, der Crystallisationsprozeß gestört werden, und man erhielte nur verkrüppelte Crystalle.

III. Solche crystallinische Formen erblicken wir vielfach um uns. Die Bildung des Eises auf einer ruhig stehenden Wasserfläche zeigt uns diese Regelmäßigkeit, durch die verschiedenen Eisnadeln, welche hier entstehen und sich nach bestimmten Winkeln zusammen verbinden. Auch die Bildung des Eises an den gefrornen Fensterscheiben, so wie jede Schneeflocke, welche man mit freyem Auge, oder microscopisch betrachtet, beweiset dieses. Ferner bieten die bekannten Metallbäumchen, z. B. der Silberbaum, der Blei- und Zinnbaum hierzu Beyspiele dar; so wie auch die sogenannten crystallinischen Sublimate, wegen ihrer Regelmäßigkeit Blumen genannt, zur Erläuterung dienen. So entstehen z. B. die Schwefelblumen, wenn die Schwefeldämpfe aus einem geschlossenen Gefäße in ein anderes übertreten, worin sie sich allmählich

verdichten; auf ähnliche Art werden die Zinkblumen erzeugt.

IV. Auch verdient hier das Crystallisationswasser erklärt zu werden. Man setze z. B eine genau abgewogene Menge von Glaubersalz einer bedeutenden Hitze aus, so verschwindet alle Regelmäßigkeit seiner Form, es zerfällt zu einem Pulver und verliert bedeutend am Gewichte. Wird dasselbe nun im Wasser aufgelößt, und dieses Salzwasser so lange einer gelinden Wärme ausgesetzt, bis alles Wässerige entwichen ist, so werden sich regelmäßige Crystalle gebildet haben. Wiegt man diese, nachdem sie gehörig abgetrocknet sind, so findet man das erste Gewicht wieder; zum deutlichen Beweise, daß ein Theil des reinen Wassers nöthig war, um aus dem unscheinbaren Pulver regelmäßige Crystalle zu bilden. Daher nennt man es das Crystallisationswasser. Die Menge dieses Crystallisationswassers beträgt in verschiedenen Crystallen bald mehr, bald weniger; im Glaubersalze, im mineralischen Alkali, im Alaune, und Eisenvitriole beinahe die Hälfte des Gewichts der Körper. Kochsalz und Salpeter enthalten nur weniges davon. Dieses Wasser muß sich in den Crystallen in einem Zustande von Festigkeit befinden, indem es einen wesentlichen Bestandtheil dieser festen Crystalle bildet. Eine große Hitze raubet ihnen dieses Wasser, und zugleich auch ihre crystallinische Bildung.

V. In manchen Fällen entstehen die Crystalle auch dadurch, daß eine Flüssigkeit, worin feste Körper aufgelößt sind, abgekühlt wird. Wenn man z B. heißes Wasser mit Salpetersalz sättigt, und diese Flüssigkeit allmählich erkalten läßt, so bilden sich die Crystalle dieses Salzes. Denn das heiße Wasser kann eine größere Menge von Salpeter auflößen, als das weniger warme. Daher geschieht es, daß durch die Abkühlung ein Theil davon losgeschieden wird, welcher sich crystallinisch niederschlägt. Auch erhält man aus der Auflößung von Salzen im Wasser dadurch Salzkrystalle, daß man Weingeist hinzugießet; wie z. B. bei dem Glaubersalze, Kochsalze und dem

vitriolisirten Weinsteine geschieht. Da sich nämlich der Weingeist sehr begierig mit dem Wasser vereinigt, so wird der Salzauflößung ein Theil ihres Wässerigen entzogen, und hierdurch ein Antheil des aufgelößten Salzes abgeschieden.

VI. Um die Lehre von der Crystallisation hat sich Hauy vorzügliche Dienste erworben, indem er größere Crystalle, nach Anleitung ihrer natürlichen Fugen, in kleinere zertheilte, welche mit ihnen ähnlich oder verschiedenartig gestaltet sind. Auch bestimmte er den Unterschied zwischen primitiven und sekundären Gestalten. Jene zeigen sich als stereometrische Körper, welche mitunter ganz regelmäßig sind. Sie lassen sich auf folgende sechs zurückführen:

1) Das Parallelepipedum, welches auch den Würfel und alle andere Körper unter sich begreift, welche von 6 Seitenflächen begrenzt werden, deren zwei gegenüberstehende parallel sind.
2) Das regelmäßige Tetraëder;
3) Das reguläre Octoëder;
4) Die sechsseitige Säule;
5) Das Dodecaëder mit gleichen und ähnlichen Rautenflächen, endlich
6) Das Dodecaëder mit 3seitigen gleichschenkeligen Flächen.

Aus der verschiedenen Zusammensetzung der primitiven Formen entspringen höchst mannigfaltige secundäre Gestalten; welche mit Worten nicht befriedigend beschrieben, sondern nur durch gute Modelle oder durch Betrachtung der Naturkörper selbst gehörig aufgeklärt werden können.

VII. Obgleich hierdurch in der Crystallographie sehr vieles geschehen ist, so bleibt doch eine sehr wichtige Frage zu beantworten; nämlich, nach welchen Gesetzen wirken die Anziehungskräfte in den kleinsten Theilchen der Körper, damit sie bald diese, bald jene Form hervorbringen? Das allgemeine Prinzip und die Anwendungen davon auf die besondern Gestalten der Crystalle liegt noch ziemlich im Dunkeln. Diesen crystallinischen Formen unorganischer Körper stehen

die freyern Formen und Gebilde der organischen Geschöpfe zur Seite. Gleichwie in organischen Körpern ein höheres Leben waltet, so entspricht auch die Formbildung ihrer Theile diesem höheren Gesetze. Aber die Natur des Bildungstriebes ist uns hier so unbekannt, als jene Kräfte, welche crystallinische Gestalten erzeugen.

§. 3.

Erscheinungen und Gesetze der Adhäsion.

I. Aus den bisherigen Phänomenen geht das Daseyn einer anziehenden Kraft hervor, welche sowohl den Grund der Cohärenz als auch der crystallinischen Formbildungen enthält. Diese Kraft äußert sich aber auch in getrennten Körpern, wenn sie an ihren Flächen hinlänglich geebnet, in wechselseitige Berührung kommen. Man nennt diese Erscheinungen Phänomene der Adhäsion, und ihre Ursache die Adhäsionskraft, deren Stärke nur durch richtige Versuche bestimmt werden kann.

II. Muschenbroeck ließ Cylinder von verschiedenen Materien im Durchmesser zu 1,916 rhnl. Zollen verfertigen. Ihre Grundflächen wurden genau polirt, erwärmt, mit Talg bestrichen, gehörig zusammengesetzt, und nach dem Erkalten durch stufenmäßig einwirkende Gewichte aus einander gerissen. Da der Druck der Luft ungefähr 41 Pfunde betrug, so wurde dieser jedesmal gehörig in Abzug gebracht. Die Resultate waren folgende:

Glas	adhärirte	mit	einer	Kraft	von	89	Pf.
Messing	=	=	=	=	=	109	=
Kupfer	=	=	=	=	=	159	=
Silber	=	=	=	=	=	84	=
Gehärteter Stahl		=	=	=	=	184	=
Weiches Eisen		=	=	=	=	259	=
Zinn	=	=	=	=	=	59	=
Bley	=	=	=	=	=	231	=

Weißer Marmor	184	=
Schwarzer Marmor	189	=
Elfenbein	67	=

III. Nicht blos feste Körper mit festen, sondern auch feste Körper gegen liquide zeigen eine bedeutende Kraft der Adhäsion. Wenn man z. B. eine Glasscheibe, an dem einen Ende eines Wagebalkens gehörig hängend, in wagerechter Richtung mit der nöthigen Vorsicht auf eine Wasserfläche bringt, so wird sie mit bemerkbarer Kraft mit ihr adhäriren; welche durch kleine, allmählich zu vergrößernde Gewichte in der Wagschaale ungefähr bemessen werden kann. Auf ähnliche Weise, jedoch mit anderer Stärke, wird diese Glasscheibe auf andern liquiden Körpern z. B. auf Milch, Bier, Essig, Oel. u. s. f. adhäriren; zum Beweise, daß dieselbe nicht einzig von der Menge der gegenseitigen Berührungs-Punkte, sondern auch von der specifischen Verschiedenheit der in Berührung gebrachten Körper abhängig sey. Wenn sich aber die Glasscheiben, welche auf das Wasser gebracht werden, in ihrem Durchmesser wie die Zahlen 1, 2 und 3 verhalten, so hat der Versuch gelehrt: daß die Adhäsionskräfte im Verhältnisse von 1 4 und 9, d. h. im Verhältnisse der Quadrate ihrer Durchmesser, oder, was einerlei ist, im Verhältnisse der vorhandenen Berührungspunkte stehen. Auch hier muß die Größe des Luftdrucks gehörig in Anschlag gebracht werden.

IV. Nach den Versuchen, welche von Morveau mit runden Metallplatten, deren Durchmesser 1'' betrug, in Rücksicht ihrer Adhäsionskraft gegen das Quecksilber angestellt hat, ergaben sich folgende Resultate:

Gold adhärirte mit einem Gewichte von	446	Gran
Silber	446	=
Zinn	418	=
Bley	397	=
Wismuth	372	=
Zink	204	=
Kupfer	142	=
Eisen	115	=

Auf dem Daseyn dieser Adhäsionskraft beruhen sehr viele bekannte Erscheinungen der Natur und Kunst, z. B das Vergolden, Versilbern, Verzinnen, Leimen, Kitten, Löthen, das Belegen der Spiegel und vieles Andere.

VI. Auf dem Daseyn oder auf dem Mangel dieser Adhäsionskraft zwischen festen und liquiden Körpern beruhet auch das Feuchtwerden oder Nichtfeuchtwerden der erstern, wenn sie in letztere eingetaucht und wiederum aus ihnen herausgenommen werden. Glasstangen, welche man aus dem Wasser, Weine, Biere, oder aus Milch und Oel u. s. w. zieht, sind von diesen Flüssigkeiten befeuchtet: weil, wie wir annehmen müssen, die Theilchen dieser Körper stärker mit dem Glase, als unter sich selber cohäriren. Taucht man aber die Glasstange in Quecksilber, oder in ein geschmolzenes Metall: so ist sie, nach dem Herausnehmen nicht befeuchtet, weil nun das Gegentheil Statt findet. Auf ähnliche Weise wird eine Stange von Zinn, Bley, Silber oder Gold, oder der Finger, von dem Wasser befeuchtet; bestreut man aber das Wasser zuvor mit Bärlappsamen, so kann man den Finger, ohne daß er naß wird, in das Wasser tauchen. Auch wird er nicht vom Wasser befeuchtet, wenn man ihn zuvor mit Oel überstrichen hat.

VII. Wenn man liquide Körper in kleinen Massen auf feste Materien gießet, so zerfließen sie entweder auf ihnen, oder sie bilden Tropfen. Quecksilber, auf Zinn, Blei, Silber oder Gold gegossen, wird zerfließen; aber auf Holz, Glas, Eisen, Papier, u. s. f. bildet es kleinere und größere Kügelchen. Wasser, Milch, Bier, Essig, u. s. w. auf Fließpapier gegossen, wird sogleich zerfließen; ist es aber mit Oel getränkt, so entstehen kleine Kügelchen. Der Grund ist leicht zu erkennen. Wenn nämlich liquide Körper mehr mit festen, als mit ihren eigenen Theilchen adhäriren, so werden sie auf ihnen zerfließen; ist aber die Adhäsion unter ihnen selbst größer als gegen den festen Körper, so bilden sie kleine Kügelchen.

VIII. Hierher gehört auch das Gesetz der Tropfenbildung, welchem alle liquide Körper unter-

worfen sind, wenn man sie in kleinen Massen sich selbst überläßt. Ihre große Beweglichkeit, verbunden mit der, in jedem ihrer Theilchen gleichmäßig wirkenden, Anziehungskraft muß nothwendigerweise diese Kugelgestalt bilden. Liquide Körper sind daher auf ähnliche Weise dem Gesetze der Tropfenbildung, wie feste Massen jenem der Crystallisation unterworfen. Daß aber größere Quecksilbermassen auf dem Holze keine vollkommene, sondern plattgedrückte, kugelähnliche Gestalten bilden, rührt von dem bedeutenden Gewichte der Quecksilbertheile her, welches dieser Kugelbildung offenbar entgegen wirkt. Auf gleiche Weise darf man nicht erwarten, daß z. B. eine größere Wassermasse, aus einem Gefäße gegossen und von bedeutender Höhe herabfallend, sich während des Falles zu einer Kugel gestalte; indem jedes einzelne Wassertheilchen, dem gemeinschaftlichen Zuge der Schwerkraft gleichmäßig folgend, jener schwächer wirkenden Anziehungskraft nicht gehorchen kann, welche bei Wegnahme dieses störenden Einflusses die Kugelgestalt bilden würde.

IX. Wenn liquide Körper in Gefäße von mancherlei festen Stoffen so gegossen werden, daß diese nicht davon angefüllt sind, so bilden sie entweder concave, oder convexe Oberflächen in ihnen. Jenes zeigt z. B. Wasser, Wein, Bier, Milch in Gläsern; dieses aber das Quecksilber im Glase, die zerschmolzenen Metalle in den Schmelztiegeln, und selbst das Wasser in einem mit Oel wohlbestrichenen Glase. Man erkennt sogleich, daß diese Erscheinungen aus dem Daseyn oder aus dem Mangel einer bedeutenden Adhäsionskraft zu erklären sind. Das Wasser erhebt sich deßhalb da, wo es im Innern das Glas berührt: weil es hier von dem Glase mit größerer Kraft gegen das Glas, als gegen seine eigenen Theilchen gezogen wird. Da nun die Wassertheilchen auch unter sich einige Cohärenz haben, so muß sich eine allmählich höher steigende krumme Fläche bilden, welche, nach ihrer Mitte hin, sich in den wagrechten Stand verlieret. Da aber z. B. Quecksilber keine bedeutende Adhäsion zum Glase hat, so wird sich dasselbe, da, wo

es mit dem Glase in Berührung steht, nicht an demselben erheben können; das Quecksilber folgt vielmehr dem Gesetze der Tropfenbildung, woraus eine convexe Oberfläche entspringt. Daß die Adhäsion hier nur als Flächenkraft, d. h. nach den Berührungspuncten der Oberfläche wirke, beweiset der Versuch, nach welchem das Wasser in einem mit Oel ausgestrichenen Glase eine convexe Oberfläche bildet.

X. Werden diese Gefäße mit den liquiden Körpern so angefüllt, daß sie, wie man zu sagen pflegt, übervoll von ihnen werden: so bildet ihre Oberfläche jedesmal eine Convexität, wie z. B. sowohl Wasser als Quecksilber in einem übervollen Glase oder auch in einem übervollen Becher von Zinn beweisen. Da nämlich hier die gegenseitigen Berührungspuncte des festen und liquiden Körpers wegfallen, so fällt auch das Phänomen der Adhäsion selbst hinweg, und es tritt das Gesetz der Tropfenbildung, d. h. der Kugelgestalt ein. Daß aber die liquiden Körper nun keine volle Halbkugeln, sondern Flächen von geringerer Wölbung bilden, erkennt man leicht daraus: daß, vorzüglich bei weitern Gefäßen, die Schwerkraft ihrer Theilchen dieses verhindern muß.

XI. Aus eben diesen Betrachtungen erklärt man auch die bekannte Erscheinung: daß z. B. das Wasser rings um eine in dasselbe getauchte Glasstange her, eine Erhöhung; das Quecksilber aber, unter eben diesen Umständen, eine Vertiefung bildet. Dort wirkt nämlich die Adhäsion als bewegende Kraft zur Erhebung des Wassers; hier aber tritt, bei dem Mangel dieser Adhäsion, das Gesetz der Tropfenbildung ein. Würde die Glasstange mit Oel bestrichen, und mit Bärlappsamen bestreut, so bildete das Wasser rings um sie her eine Vertiefung.

XII. Auf der Wirkung dieser Adhäsionskraft beruht auch der Grund des bekannten Verschüttens solcher Flüssigkeiten, welche sich in Gefäßen befinden, mit welchen sie bedeutend adhäriren. Neigt man z. B. das, mit Wasser zum Theil angefüllte Glas sanft zur Seite, so treten einmal viele Wassertheile mit seinem Rande in

Berührung. Ihre Adhäsion ist hier so groß, ihr Gewicht aber so gering, daß beim fortgesetzten Neigen ein Theil des Wassers längs des Glases herabfließt, und erst am Boden desselben von der Adhäsionskraft befreyt, zum Theil durch sie und durch die Schwerkraft getrieben, nach krummer Linie sich fortbewegt. Befände sich dagegen Quecksilber in diesem Glase, so würde dasselbe, auch bei der sanftesten Neigung, lothrecht herabfallen, weil zwischen diesen beiden Materien keine bedeutende Adhäsion statt findet. Hierauf gründet sich auch die bekannte Wirkung der sogenannten Ausgüsse, welche man an solchen Gefäßen, um die Flüssigkeiten nicht zu verschütten, anzubringen pflegt. Da dieselben eine meist zugespitzte Form haben, so wird durch sie die Zahl der Berührungspuncte, somit auch die Stärke der Adhäsion und der Grund des Verschüttens vermindert.

§. 4.

Kurze Uebersicht der Lehre von den Haarröhrchen.

I. Wenn man zwei lange und schmale Glasplatten, in paralleler Richtung, lothrecht und etwa drey Zoll von einander entfernt, in das Wasser taucht, so wird sich dasselbe zwischen ihnen erheben und eine concave Oberfläche bilden. Werden die Glasplatten noch mehr gegen einander gebracht, so steigt das Wasser zwischen ihnen höher empor, und wird sich immer mehr über die Fläche des äußern Wassers erheben, je weiter diese Annäherung getrieben wird. Tauchte man aber diese Glasplatten eben so, in das Quecksilber, so würde gerade das Entgegengesetzte erfolgen; das Quecksilber würde mit convexer Fläche immer tiefer hinabtreten. Der Grund beider Phänomene ist aus dem Bisherigen bekannt.

II. Taucht man eine, oben und unten offene, etwa einen Zoll weite Glasröhre lothrecht in das Wasser, so steigt dasselbe nicht bloß eben so hoch in ihr empor, als es außen steht; sondern es erhebt sich

noch etwas höher. Nimmt man auf ähnliche Weise andere Glasröhren, welche allmählich enger werden, so zeigt sich, daß das Wasser in ihnen immer höher emportritt, je enger sie werden. Das Verhältniß dieser Höhen kann ungefähr so bestimmt werden. Wenn z. B. die eine Röhre halb so weit, als die andere ist, so bietet sie dem Wasser nur halb so viel Berührungspunkte, als die weitere dar. Allein wenn sich das Wasser in beyden gleich hoch erhebt, so beträgt dessen Gewicht in der weitern viermal so viel als in der engern. Erwäget man nun, daß die Adhäsionskraft, als die erhebende Kraft, in der weitern noch einmal so groß, als in der engern, die Gegenkraft aber, (das Gewicht des zu hebenden Wassers) dort viermal so groß, wie hier ist: so entsteht das Resultat, daß das Wasser in dieser Röhre noch einmal so hoch, als in jener aufsteigen müsse.

III. Röhrchen, welche unten und oben offen sind, und im Durchmesser etwa die Dicke eines Pferdehaars, haben, nennt man Haarröhrchen. Sie können von verschiedenen Materien seyn; doch bedient man sich gewöhnlich der gläsernen Haarröhrchen, weil man bequem in sie hineinschauen kann. Wird nun ein solches Röhrchen in das Wasser oder in eine andere liquide Materie, welche mit dem Glase adhärirt, eingetaucht: so erhebt sich dasselbe über die äußere Wasserfläche, anfangs schnell und allmählich langsamer, bis es auf einer bestimmten Höhe zur Ruhe kömmt. Man sieht, daß hier zwei Kräfte gegen einander wirken: die Adhäsionskraft als die bewegende Kraft, und das Gewicht des zu erhebenden Wassers, als dasjenige, was ihr entgegen wirkt. Jene ist von bestimmter Größe, dieses aber anfangs gering und immer bedeutender wirksam. Daher muß das Aufsteigen mit abnehmender Geschwindigkeit Statt finden, auch dann zu Ende kommen, wenn das Gewicht des gehobenen Wassers mit der Adhäsionskraft im Gleichgewichte steht. Da sowohl diese Adhäsion, als auch das ihr entgegenwirkende Gewicht bey verschiedenen festen und flüssigen Materien höchst verschieden ist:

so muß auch das Emporsteigen der liquiden Körper auf verschiedene Höhen geschehen. Diese Höhen müssen durch genaue Versuche bestimmt werden.

IV. Nach Muschenbroecks Versuchen, mit Haarröhrchen von holländischem Flaschenglase und gleichem Durchmesser, entstanden folgende Resultate:

Destillirtes Wasser erhob sich auf				3,40	rhnl. Zolle	
Reiner Weingeist	=	=	=	1,80	=	=
Aetzender Salmiakgeist		=	=	3,60	=	=
Salpetergeist	=	=	=	2,07	=	=
Salzgeist	=	=	=	2,07	=	=
Vitriolgeist	=	=	=	3,25	=	=
Vitriolöl	=	=	=	1,30	=	=
Terpentinöl	=	=	=	2,58	=	=

Hierbei versteht sich von selbst, daß die Haarröhrchen oben offen, auch die Flüssigkeiten nicht klebrig seyn müssen, weil beides ihr Aufsteigen beschränkt. Auch versteht es sich, daß z. B. das destillirte Wasser aus der obern Oeffnung eines Haarröhrchens nicht ausfließen werde, welches so tief in dasselbe eingetaucht ist, daß es etwa nur um einen Zoll darüber hervorragt. Wenn die Oeffnungen der Haarröhrchen noch enger werden, so steigen auch die Flüssigkeiten auf weit größere Höhen empor. Der Verfasser hatte ein Glasröhrchen, dessen innere Oeffnung eine halbe Linie betrug, bis zum Weichwerden erhitzt, und hieraus einen Glasfaden von ungefähr 8 Schuh in der Länge gezogen, dessen Dicke etwa einem starken Menschenhaare gleich kam. Sein unteres Ende wurde in Wasser getaucht, welches nunmehr bis zum obern Ende desselben emporstieg. Da bei einer so äußerst feinen Oeffnung das Gewicht des aufsteigenden Wassers gegen die Adhäsionskraft als nichts zu betrachten ist: so scheint es, daß sich das Wasser in so äußerst engen Haarröhrchen auch noch zu weit größern Höhen erheben werde.

III. Die Anwendung von dieser Wirkung der Haarröhrchen ist höchst mannigfaltig in Bezug auf Erscheinungen der Natur und der Kunst. Diese Haarröhrchenkraft erhebt das geschmolzene Unschlitt, oder

Wachs, oder das Oel durch den Docht in die Höhe, um der Flamme immerfort neue Nahrung zu geben. Auch beruht hierauf die Wirkung des Filtrirens, das Aufsteigen des Wassers in dem feinen Zellgewebe eines feuchten Schwammes; das Heben großer Lasten durch angespannte trockne Stricke, welche man sodann naß macht; das Zersprengen der Steine, in welche eine Rinne gehauen wird, die man mit sehr trocknem Holze ausfüllt und mit Wasser begießet, u. s. w. Endlich beruht wohl auch die Bewegung der Säfte in den Pflanzen und Thierkörpern, so wie auch die bekannte Wirkung der sogenannten Sauggefäße, zum Theile wenigstens, auf diesen Phänomenen und Gesetzen der Haarröhrchen.

IV. Wenn Flüssigkeiten gegen den Stoff, woraus die Haarröhrchen verfertigt sind, keine bedeutende Adhäsion haben, so treten auch die entgegengesetzten Erscheinungen ein. Das Quecksilber z. B. wird in Haarröhrchen von Glas nicht einmal so hoch emporsteigen, als es außerhalb im Gefäße steht. Je enger diese gläsernen Röhrchen werden, desto mehr erniedrigt zeigt sich die Quecksilberfläche unterhalb dieses Niveau's. Auf ähnliche Weise verhalten sich auch geschmolzene Metalle gegen Haarröhrchen von Glas. Auch erklärt man sich hieraus andere Erscheinungen; z. B. warum ein Quecksilbertropfen in einem Stückchen Flor getragen werden kann, da doch ein Wassertropfen von weit geringerem Gewichte hindurch fließt u. s. w.

V. Endlich gehört noch zu dieser Lehre das scheinbare Anziehen und Abstoßen leichter Körperchen, welche auf liquiden Materien schwimmen und nicht von ihnen aufgelößt werden. Zwei reine, hohle Glaskügelchen werden, sanft auf das Wasser in einer Entfernung von einigen Zollen gesetzt, allmählich einander mit zunehmender Bewegung näher rücken, bis sie sich berühren. Sind beide mit Oel bestrichen, so zeigen sie dieselbige Erscheinung. Ist dagegen das eine rein, das andere aber mit Oel bedeckt: so werden sie, nahe zusammengebracht, sich mehr und mehr von einander

entfernen. Vormals wurden diese Erscheinungen aus dem Daseyn einer anziehenden oder zurückstoßenden Kraft zwischen diesen Körperchen abgeleitet. Diese Erklärung ist aber durchaus irrig, wie man leicht durch Versuche nachweisen kann. Die Wirkung der Adhäsionskraft gibt eine weit befriedigendere Erklärung. Indem sich das Wasser zwischen den beyden, nur einige Zolle von einander entfernten reinen Glaskügelchen erhebt, muß es allerwärts dahin zufließen; und dieses Hinzuströmen gibt den leicht beweglichen Körperchen eine Bewegung gegen einander, welche um so schneller werden muß, je mehr sie zusammenrücken, weil hierdurch das Wasser immer höher zwischen ihnen emporsteigt. Auf ähnliche Weise werden auch die übrigen Erscheinungen erklärt, deren allgemeine Gesetze für andere Körper, als für Glas und Wasser leicht ausgesprochen werden können.

Viertes Kapitel.

Von den Erscheinungen der liquiden Körper überhaupt und in ihrem Verhältnisse mit festen.

Der Gegenstand dieses Kapitels ist die Darstellung jener allgemeinen Erscheinungen, welche die liquiden Körper, vermöge ihres Druckes auf die Grundflächen und auf die Seitenflächen der sie enthaltenden Gefäße, ausüben. Auch wird das Verhältniß der specifischen Gewichte verschiedenartiger liquider Materien unter sich und in Bezug auf feste Körper betrachtet. Hierauf folgt die Lehre von dem Schwimmen auf und in dem Wasser, sodann die verschiedenen Methoden zur Bestimmung des specifischen Gewichtes aller festen und liquiden Körper und endlich eine Tabelle über diese eigenthümlichen Schweren der meisten Naturkör-

per. Man nennt diesen Abschnitt gewöhnlich die Hydrostatik, d. h. die Lehre von dem Gleichgewichte des Wassers. Aber sie gilt auch von allen andern liquiden Körpern im Allgemeinen, deren Stellvertreter das Wasser ist.

§. 1.

Vom Druck liquider Körper überhaupt, und von ihrem Drucke auf die Grundflächen der Gefäße.

I. Eine allgemeine Erfahrung lehret, daß das Wasser (wie jeder andere liquide Körper,) wenn es in ruhigen Gefäßen in Ruhe steht, eine wagerechte Oberfläche bildet. Nur muß man hiebei von den Wirkungen der Adhäsion absehen, welche da statt finden, wo diese Flüssigkeiten die innern Wände der Gefäße berühren. Der physische Grund dieses horizontalen Standes ist eine Folge von der großen Beweglichkeit der liquiden Körper in ihren einzelnen Theilchen, und von der Schwerkraft, welche jedes einzelne auf gleichmäßige Weise afficirt. Vermöge dieser strebt eines gerade so tief zu fallen, als das andere; und, da keines tiefer fallen kann, als jedes andere, so können sie nur dann in Ruhe bleiben, wenn keines von ihnen tiefer oder höher als die übrigen liegt. Sollte es in der Oberfläche der liquiden Körper Erhabenheiten und Vertiefungen geben, so würden jene in diese zurückfallen; und es kann nicht eher allgemeines Gleichgewicht seyn, bis alle Theile in einerlei Höhe, d. h. in einer wagerechten Ebene liegen. — Nur sehr große Wasserflächen, z. B. bedeutende Meere, machen in sofern eine Ausnahme hiervon, als ihre Oberflächen keine Ebenen, sondern Theile der kugelförmigen Erdfläche sind.

II. Gleichwie liquide Körper in den Gefäßen, worin sie enthalten sind, einen wagerechten Stand behaupten, so zeigt sich eben dieses in den sogenannten communicirenden Röhren. Man versteht darunter Röhren, welche dergestalt zusammen verbunden

sind:

sind, daß der liquide Körper aus ihrem einen Schenkel in den andern (oder auch in die andern) frei übertreten kann. In (Fig. 1.) stellen ABC, DEF, HIK, LMN, OPQR, STV solche communicirende Röhren vor; woraus man sieht, daß ihre Schenkel nach Gestalt und Lage höchst verschieden seyn können. Auch kann man sich solche vereinigte Röhren denken, welche aus drei Schenkeln bestehen, z. B. (Fig. 2.) ABCDEF. So hoch das Wasser z. B. in einem dieser Schenkel steht, eben so hoch steht es auch in dem andern; so, daß beide Wasserflächen in einerlei Horizontal-Ebene liegen. Man kann nämlich das in beiden Schenkeln befindliche Wasser als einen Theil der größern Wassermasse eines größern Gefäßes ansehen, welche ebenfalls nur dann in Ruhe ist, wenn sie eine wagerechte Oberfläche bildet.

III. Man macht hiervon mancherlei nützliche Anwendungen, auf die Wasserleitungen, auf die Wasserwage, und auf Springbrunnen und dergleichen.

1) Wasserleitungen. Wenn das Wasser (Fig. 3.) von dem höhern Orte A nach dem tiefer liegenden in M geleitet werden soll, so bringt man aus dem Wasserbehälter AB eine zusammenhängende Röhrenleitung BDEFHM an, welche sich unter der Erde hin erstreckt und das Wasser bei H in den Behälter M ergießet. Die Alten haben solche Wasserleitungen mit großem Aufwande von Zeit, Kraft und Kosten oberhalb der Erde erbaut, woraus noch weiter der Nachtheil entspringt, daß das Wasser bei großer Winterkälte dem Gefrieren leicht unterworfen ist. Wird aber diese Röhrenleitung mehrere Fuß tief unter der Erde fortgeführt, so ist auch dieses nicht zu besorgen.

2) Die Wasserwage (Fig. 4.) besteht aus einer z. B. von Blech verfertigten, communicirenden Röhre MBCN, welche bei O mit einer Hülse versehen ist, damit sie auf ein dreifüßiges Stativ (ähnlich jenem des Meßtisches) gestellt werden kann. Bei M und N befinden sich zwei cylindrische Gläser MA und ND. Wird nun diese Vorrichtung mit Wasser ge-

füllt; so, daß dasselbe in dem Schenkel AB bei P und in dem Schenkel DC bei Q in Ruhe steht: so liegen die Oberflächen bei P und Q in einer Horizontalebene, und die Visirlinie P Q, welche man über Q oder P nach Belieben verlängern kann, ist eine Horizontallinie. Da es bei vielen Aufgaben der praktischen Geometrie, des Wasserbaues u. s. f. darauf ankömmt, dergleichen Horizontallinien zu finden: so ist die Wasserwage ein so bequemes, als nützliches Werkzeug.

3) Die Springbrunnen beruhen ebenfalls hierauf. Wenn (Fig. 5.) das Wassergefäß ABC mit der communicirenden Röhre MDE so verbunden ist, daß der kupferne Schenkel bei E eine enge Oeffnung hat: so wird das Wasser, welches z. B. auf der Höhe BC steht, bei E in einem feinen Strahle hervorspringen; jedoch die Fläche BC nicht erreichen, weil sowohl der Widerstand der Luft, als auch die Reibung bei E dieses verhindert.

IV. Um sich die verschiedenen Erscheinungen liquider Körper faßlicher erklären zu können, muß man den Druck kennen lernen, welchen sie in ihren einzelnen Theilchen gegen einander äußern. Dieser Druck ist allseitig d. h. jedes Thielchen erleidet ihn von allen Seiten her, und pflanzt ihn wiederum nach allen Richtungen fort. Es sey (Fig. 5.) ein Wassergefäß bis MN angefüllt. Wird die gerade, oben und unten offene Glasröhre AB lothrecht hineingetaucht, so steigt das Wasser bey B in ihr Inneres empor; was nicht geschehen könnte, wenn das Wasser bei B keinen Druck von B nach A, d. h. von unten nach oben hätte. Der Versuch wird um so deutlicher, wenn man die Mündung A vor dem Eintauchen mit dem Finger verschließt, wodurch, wegen der in der Röhre enthaltenen Luft, das Wasser bei B anfangs nur etwas weniges eintritt; aber sobald man den Finger wegnimmt, sehr schnell in ihrem Innern emporspringt. Ein ähnliches Resultat geben die Röhren CDE, FIH, OPR, QSV, und WUX, deren kürzere Schenkel nach allen Hauptrichtungen hin gebogen sind.

Es ist daher erwiesen, daß das Wasser einen Druck von E nach D, von H nach I, von R nach P, von V nach S, von Z nach U, d. h. einen ganz allseitigen Druck habe. Dieser Druck ist auch aus der sehr großen Beweglichkeit der Wassertheilchen, und aus der Schwerkraft, welche auf jedes einzelne in gleichem Maaße wirkt, leicht zu erklären.

V. Hieraus folgt die Methode, den Druck des Wassers auf die Grundfläche eines senkrecht prismatischen Gefäßes zu bestimmen. Es sey z. B. ABCD. (Fig. 6.) ein solches, bis zur Höhe MN mit Wasser gefülltes Gefäß: so kann man sich über dem Punkte F in der Grundfläche eine senkrechte Wassersäule FE vorstellen, welche mit ihrem ganzen Gewichte EF einen Druck auf den Punkt F. äußert. Da nun über der ganzen Grundfläche BC eine große Menge solcher senkrechten Wassersäulen befindlich ist, deren jede, unabhängig von der andern, ihren Druck auf sie äußert: so findet man den Gesammtdruck auf die ganze Grundfläche BC durch den Druck, welchen sämmtliche Wassersäulen hervorbringen. Da aber alle diese Wassersäulen die ganze Wassermasse MBCN bilden, so ist klar, daß die Grundfläche BC einen Druck erleide, welcher dem Gewichte der ganzen Wassermasse MBCN. gleich ist. Betrüge z. B. die Grundfläche BC einen Quadratfuß, die Höhe BM aber 2 Füße, so würde die Wassermasse MBCN zwei Kubikfuß betragen. Nun wiegt ein rheinl. Kubikfuß Wasser ungefähr $65\frac{1}{2}$ Pfund; daher wäre der Druck auf die Grundfläche BC einer Kraft von etwa 131 Pferden gleich. Hieraus entsteht folgende allgemeine Regel:

Man findet den Druck, welchen ein liquider Körper auf die Grundfläche eines senkrecht prismatischen Gefäßes äußert, wenn man das Maaß dieser Grundfläche mit dem Maaße der Höhe dieser Flüssigkeit, und das hieraus entstehende Produkt nochmals mit ihrem specifischen Gewichte multiplicirt.

VI. Nun sey (Fig. 7.) ABCED eine kommunicirende Röhre, deren kürzerer Schenkel CE so vorgerichtet ist, daß man auf seine Oberfläche ED entweder das Cylinderstück DEPO, oder das kegelförmige Stück DESR, oder auch das becherförmige Stück DENM nach Belieben aufsetzen könne. In jedem dieser drey Fälle lehrt der Versuch: daß das Wasser, wenn es in dem Schenkel BA bey A steht, in dem andern Schenkel jedesmal in der Horizontallinie AMN stehen werde. Denkt man sich nun bei DE im Innern der Röhre eine bewegliche, wasserdicht anschließende Kreisscheibe: so wird diese von dem Wasser in DOPE einen Druck von oben nach unten erleiden, welcher der Fläche DE und der Höhe DO proportional ist. Da das Wasser in ABC diese Kreisscheibe DE von unten nach oben zu bewegen strebt, so muß diese erhebende Kraft dasselbige Maaß haben. Da nun das Wasser in dem kegelförmigen Gefäße DRSE, so wie in dem becherförmigen DMNE, auch wiederum mit dem Wasser in ABCED im Gleichgewichte steht: so erleidet die bewegliche Scheibe DE denselbigen Druck von oben nach unten, es mag sich entweder das nach oben verengende, oder das sich erweiternde, oder das cylinderförmige Stück über ihr befinden. Daher ist durch diesen Versuch bewiesen, daß die Grundfläche DE von dem Wasser in DMNE so wie von jenem in DRSE, und endlich von jenem in DOPE immer den nämlichen Druck zu erleiden habe, obwohl die ganzen Wassermassen in diesen drei Fällen höchst verschieden sind. Dasselbige würde erfolgen, wenn man sich über DE ein anderes Gefäß von irgend einer, ganz unregelmäßigen Gestalt denken wollte.

VII. Aus diesem Versuche geht das wichtige Resultat hervor:

Der Druck, welchen die Grundfläche irhend eines Gefäßes, von der sich darin befindlichen Flüssigkeit erleidet hängt lediglich von der Größe der Grundfläche und von der senkrechten

Höhe des liquiden Körpers über derselben ab.

Sollte man z. B. den Druck bestimmen, welchen die Grundfläche CD (Fig. 8.) des bis AB mit Wasser gefüllten Gefäßes ACDB erleidet: so müßte man das Maaß dieser Grundfläche mit dem Maaße der senkrechten Höhe EH multipliciren, und dieses Produkt sodann noch mit dem specifischen Gewichte des Wassers vermehren. Auf gleiche Weise würde der Druck auf die Grundfläche CD des andern Gefäßes PCDQ gefunden, wenn man das Maaß von CD mit dem Maaße von MN und mit dem specifischen Gewichte des Wassers multiplicirte.

VIII. Hierbey ist es allerdings merkwürdig, daß die Grundfläche CD (Fig. 8.) des Gefäßes ACDB einen eben so großen Druck erleidet, als wenn sich über derselben ein cylindrisches, weit mehr Wasser fassendes Gefäß befände, in welchem dasselbe auf gleicher Höhe stände. Zur Erläuterung dieser Eigenthümlichkeit denke man sich die Wassersäule EH, welche aus einer lothrechten Reihe unter einander liegender Wassertheilchen besteht. Nimmt man in ihr das Wassertheilchen F an, so wird dieses, der Höhe EF proportional, von oben nach unten gedrückt werden, und diesen Druck zur Seite nach der Richtung FN fortleiten, wodurch das Wassertheilchen N den nämlichen Druck zu erleiden hat. Dieses Theilchen drückt aber wiederum von N gegen R. Daher muß der Punkt R sowohl von dem Drucke der Wassersäule NR, als auch von jenem zugleich afficirt werden, welchen N schon zuvor erlitten hatte, und welcher der Höhe EF proportional war. Daher vereinigt sich in R der Druck zweier Wassersäulen EF und NR, welche zusammengenommen einen Druck von der Höhe EH bilden; folglich wird der Punkt R so stark gedrückt, als der Punkt H. —

Denkt man sich das becherförmige Gefäß PCDQ, so wird dessen Grundfläche CD nur den Druck der Wassermasse ECDR zu erleiden haben. Der Druck des in den Räumen PEC und QRD befindlichen

Wassers wird theils auf die Seitenwände PC und QD Statt finden, theils aber sich selbst in seiner Gegenwirkung zernichten.

§. 2.

Einige Anwendungen von dem Drucke liquider Körper auf die Grundflächen ihrer Gefäße.

I. Von den höchst mancherlei Anwendungen, welche man von dem Drucke liquider Körper auf die Grundflächen der sie enthaltenden Gefäße machen kann, sollen hier nur einige erklärt werden. Der sogenannte anatomische Heber von Wolf besteht (Fig. 9.) aus einer communicirenden Röhre ABCED, deren einer Schenkel AB enge und lang, der andere CE kurz und von weiter Oeffnung ist. Denkt man sich nun den kurzen Schenkel mit Wasser angefüllt, und vermittelst einer Blase vollkommen geschlossen: so wird, wenn man den längern Schenkel bis A voll Wasser gießt, dieses wenige Wasser auf die Fläche DE einen sehr bedeutenden Druck von unten nach oben äußern. Denkt man sich nämlich den Schenkel CE bis NM verlängert, so würde die Wassermasse MDEN neu hinzukommen; und, wenn sich in DE keine Blase befände, so müßte das Wasser in beiden Schenkeln im Gleichgewichte seyn. Da nun die Wassermasse MDEN auf DE einen Druck äußert, welcher dieser Fläche DE und der Höhe MD proportional ist: so wird auch die Fläche DE von dem, in AB befindlichen Wasser einen Druck von unten nach oben erleiden, welcher dem Gewichte der Wassermasse MDEN gleich ist. Wäre z. B. die Fläche DE genau ein Quadratfuß, DM aber betrüge 10 Fuß, so enthielte der Raum MDEN 10 Cubicfuß Wasser, deren Gewicht ungefähr 655 Pf. beträgt; daher würde auch die Blase DE, durch das wenige in BA befindliche Wasser, mit dieser Kraft von etwa 655 Pfunden gehoben. Die Erfahrung bestätigt dieses Resultat, indem schwere Gewichte, welche man auf das Brett

stellt, womit die Blase bedeckt ist, wirklich emporgehoben werden. Brächte man (Fig. 10) mit dem engen Schenkel AB zwei kürzere und weitere Schenkel BD und CE in Verbindung: so würde dieselbige Wirkung (welche man leicht berechnen kann) sowohl auf die Blase über DB, als auch auf jene über CE statt finden. Der Erfinder dieser Vorrichtung hat sie deßhalb den anatomischen Heber genennt: weil sie heberförmig gestaltet, und dazu tauglich ist, in den durch die Druckkraft des Wassers angespannten Membranen den Lauf der Blutgefäße und die Textur der Fibern anschaulicher zu erkennen.

II. Auch gehört der sogenannte hydrostatische Blasebalg von s'Gravesande hierher. Wenn (Fig 11.) BC und MN zwei kreisförmige Bretter vorstellen, welche rings umher durch ein in Falten gelegtes Leder wasserdicht verbunden sind, und man bringt in der Mitte der obern Scheibe bey D eine enge und lange Blechröhre an, welche man durch ihre Oeffnung bei A, gleich dem Raume BCMN mit Wasser anfüllen kann: so werden die Gewichte F allmählich in die Höhe geschoben. Die Kraft, womit dieses geschieht, ist dem Gewichte einer Wassermasse gleich, welche BC zur Grundfläche und DA zur Höhe hat. Da nun die Länge dieser Röhre sehr bedeutend werden kann: so ergibt sich hieraus die ungeheure Kraft, welche zur Erhebung dieser Gewichte wirksam ist.

III. Auch gehört noch hieher Reals hydrostatische Druckpresse Man denke sich z. B. einen Blechcylinder von 3 bis 4 Zoll in der Weite und etwa 6 — 8 Zoll in der Höhe, dessen unterer Boden mit sehr vielen höchst feinen Oeffnungen durchbohrt ist. Bringt man nun durch die obere Oeffnung desselben irgend einen, auszugsartige Bestandtheile enthaltenden, sehr verkleinerten Körper, z. B. gemahlenen gebrannten Kaffee; drückt diese Masse etwas fest zusammen, bedeckt sie oben mit einer, ebenfalls vielfach durchbohrten Blechscheibe, welche in das Innere genau einpaßt; verschließt nun den Cylinder mit einem

ganz genau wasserdichten Blechdeckel, aus dessen Mitte sich eine enge Röhre von ungefähr 12 Fuß erhebt, und gießt dieselbe voll Wasser: so wird dieses zuerst den oberen noch leeren Theil des Cylinders ausfüllen, und wenn man fortfährt, die Röhre voll zu erhalten, mit solcher Kraft durch den zusammengepreßten gemahlenen Kaffee gedrückt werden, daß die aus dem untern Boden fließenden Tröpfchen einen reinen, kräftigen, vollkommen guten Kaffee darstellen. Diese Vorrichtung ist wichtig für praktische Anwendungen. Flüchtige Bestandtheile der Körper, welche bey der gewöhnlichen Verfertigung der Extrakte durch die dabey einwirkende Wärme entweichen, werden durch diese kalte Extraktion zurückgehalten, wodurch man kräftigere Produkte gewinnt. Man hat diesem Werkzeuge mancherley bequeme Einrichtungen gegeben.

§. 3.

Bestimmung des Seitendruckes liquider Körper, nebst Anwendungen davon.

I. Es sey (Fig. 12) das ablange cylindrische Gefäß AB mit Wasser gefüllt, und die Vorrichtung so getroffen, daß sich an dessen Seite bey C, D, E, F, H und M kleine unter sich gleiche Oeffnungen befinden, welche nach Belieben verschlossen, oder auch geöffnet werden können. Die Erfahrung lehrt, daß aus jeder dieser Oeffnungen das Wasser hervorströmet, sobald dieselbe geöffnet wird. Da dieses nur durch einen Seitendruck des in dem Gefäße befindlichen Wassers geschehen kann, so ist im Allgemeinen das Daseyn eines Seitendrucks gegen jeden Punkt der Seitenfläche dieses Gefäßes erwiesen. Da aber ferner das Wasser aus der untern Oeffnung M mit der größten, und aus den höher liegenden Oeffnungen mit allmählich abnehmender Stärke hervorfließet: so muß auch der Seitendruck bei M größer, als bei H; bei H größer als bey F seyn u. s. w. Man erkennt überhaupt hieraus, daß der Druck, welcher z. B. auf den Punkt

R (Fig. 13.) in dem bis MN mit Wasser gefüllten Gefäße ABCD Statt findet, dem Gewichte der Wassersäule von der Höhe MR gleich sey. Denn mit eben der Stärke, mit welcher das bey R liegende Wassertheilchen von M nach R lothrecht gedrückt wird, wird dasselbe auch zur Seite gedrückt werden.

II. Wäre die Frage „wie groß der Seitendruck des Wassers auf den zwischen O und Q enthaltenen Theil der Seitenwand DC sey" so ist klar: daß der Punkt O einen Druck erleide, welcher der Höhe NO; der Punkt Q aber einen solchen, welcher der Höhe proportional ist. Daher muß der zwischen beiden in der Mitte liegende Punkt P einen mittlern Druck erleiden. Folglich findet man den Gesammtdruck auf die Fläche OQ: wenn diese Fläche mit dem Maaße der Höhe NP, und sodann noch mit dem specifischen Gewichte des Wassers multiplicirt wird. Wäre (Fig. 14.) DEFH ein bis MN mit Wasser gefülltes Gefäß, dessen Boden EF eine schiefe Lage hat: so erkennt man, daß der Druck auf den Punkt E dieser Grundfläche der Höhe ME, jener auf den Punkt F aber der Höhe NF proportional sey. Nimmt man zwischen ME und NF das arithmetische Mittel QR, so stellt diese Linie den Druck auf den Punkt R dar. Man findet daher auch hier den Gesammtdruck auf die Grundfläche EF, wenn das Maaß dieser Fläche mit dem Maaße von QR, und sodann noch mit dem specifischen Gewichte des Wassers multiplicirt wird.

III. Es stelle (Fig. 15.) ABCD den Durchschnitt eines Dammes vor, unter welchem sich der Durchflußkanal RCDM befindet. Wenn nun, durch heftige Regengüsse oder durch andere Veranlassungen das Wasser schneller heranströmt, als es durch diesen Kanal abfließen kann: so muß es allmählich an der äußern Fläche des Dammes emporsteigen. Wenn EF diese Wasserhöhe bezeichnet, so ist klar: daß die Fläche EC einen Seitendruck erleidet, welcher dem Produkte, aus dem Maaße dieser Fläche in die Hälfte des Maaßes der Höhe FH und sodann noch in das specifische Gewicht des Wassers, entspricht. Aber au=

ßer diesem Seitendrucke übt das Wasser auch auf DC eine sehr bedeutende Druckkraft von unten nach oben aus, deren Maaß durch das Produkt aus dem Inhalte dieser Fläche mit dem Maaße von FH und mit dem specifischen Gewichte des Wassers bestimmt wird. Da auf diese Weise zwei sehr bedeutende Druckkräfte auf diesen Damm einwirken, so kann derselbe, bei nicht hinreichendem Widerstande, von ihnen überwältigt werden, wie die Erfahrung vielfach lehret.

IV. Auch gehört hieher die Segnerische Wassermaschine. Ein cylindrisches, ablanges Gefäß ABCD (Fig. 16.) ist oben offen, und unten mit einem Boden versehen, auf welchem sich das kegelförmig gestaltete Blechstück CED so befindet, daß das Ganze auf der Spitze eines lothrecht stehenden Drathes EF sich leicht und frei umherdrehen kann. Ferner befinden sich an dem Boden in gleichen Entfernungen vier Seitenröhrchen, wovon die zwei sich entgegenstehenden durch CH und DK bezeichnet werden. Die Gestalt dieser Röhrchen übersieht man am bequemsten in (Fig. 17.) worin A die kreisförmige Grundfläche, und BCD eines dieser engen, bei C rechtwinkelig gebogenen Röhrchen vorstellt. Auf gleiche Weise bedeuten E, F, H die drei andern Röhrchen, welche bei M, N und R ihre Oeffnungen haben. Wird nun der Cylinder ABDC (Fig. 16.) mit Wasser gefüllt, so muß dieses aus jeder der vier Oeffnungen bei D, MN und R (Fig. 17.) hervorfließen, wodurch die ganze Vorrichtung nach Richtung der Linie DC umher bewegt wird. Man erkennt sogleich, daß dieses Umdrehen eine Folge von dem Seitendrucke des Wassers ist, dessen Daseyn im Bisherigen erwiesen, und dessen besondere Wirkung auf folgende Weise zu erläutern ist. An dem Faden AB (Fig. 18.) hänge der mit Wasser gefüllte Blechcylinder BC mit vollkommener Ruhe. Ist nun die Vorrichtung getroffen, daß durch eine in der Seitenwand befindliche Oeffnung M das Wasser willkührlich, und ohne merkbare Erschütterung des Ganzen, hervorfließen kann: so wird in demselbigen

Augenblicke, worin dieser Ausfluß beginnt, die ganze Vorrichtung von M nach N. somit nach entgegengesetzter Richtung bewegt werden. Den in dem vollen Gefäße BC entspricht dem Seitendrucke des Wassers von N gegen M der ihm gleiche entgegengesetzte Seitendruck von M gegen N. Daher heben sich beide einander auf und es kann keine Bewegung erfolgen. Fließt nun das Wasser aus M ungehindert hervor, so fällt der Seitendruck von N nach M hinweg, jener von M gegen N aber besteht ungehindert fort, woraus die Bewegung des Ganzen nach dieser Richtung hervorgeht.

§. 4.

Hydrostatisches Verhältniß verschiedenartiger Körper unter sich und der festen Körper gegen liquide, worin sie eingetaucht werden.

1. Es sey (Fig. 19.) AOB eine communicirende Röhre mit gleich weiten parallelen Schenkeln und der Raum EOF mit Quecksilber angefüllt, welches in der wagerechten Oberfläche EF sich befinden wird. Gießet man nun durch die Oeffnung B reines Wasser in den Schenkel BF, so wird die Quecksilberfläche F sich bis N herabsenken; in dem Schenkel EA aber von E bis D erheben, indem das Wasser den Schenkel OB von N bis C erfüllt. Wasser und Quecksilber halten sich zwar hier das Gleichgewicht; allein sie befinden sich in verschiedenen Höhen. Da die Quecksilbermasse NOM sich gegenseitig im Gleichgewichte hält, so wird auf der einen Seite die Quecksilber-Säule DM, und auf der andern die Wassersäule CN gegen einander wirken, und sich im Gleichgewichte halten. Mißt man diese Höhen, so ist CN ungefähr 14mal so groß, als DM. Hieraus folgt, daß das Wasser dann erst mit dem Quecksilber gleichen Druck äußert, wenn seine Höhe ungefähr vierzehnmal so groß, als jene des Quecksilbers ist. Daher muß sich das specifische Gewicht des Quecksilbers zu jenem des Was-

sers ungefähr wie 1 : 14 verhalten, und es ist hierdurch folgender Satz bewiesen:

Liquide Körper von verschiedenem specifischen Gewichte (welche sich nicht auflösen) stehen dergestalt in communicirenden Röhren im Gleichgewichte, daß sich ihre Höhen umgekehrt wie ihre specifischen Gewichte verhalten.

Brächte man daher z. B. Wasser und Oel auf diese Weise zusammen, so könnte das Verhältniß ihrer eigenthümlichen Gewichte ungefähr bestimmt werden. Das verschiedene Maaß der Adhäsionskraft wird die Bestimmung ihrer Höhen etwas unsicher machen.

II. In dem, auf die Höhe MN (Fig. 20.) mit Wasser gefüllten Gefäße ABCD befindet sich ein genau verfertigter Cubiczoll von irgend einer festen Materie PSRQ so eingetaucht, daß seine Oberfläche PS mit der Wasserfläche gleichlaufend ist. Auch wird vorausgesetzt, daß sich beide Stoffe nicht auflößen. Hier wird die Fläche PS von oben nach unten einen Druck erleiden, welcher dem Gewichte der Wassermasse OPST proportional ist. Die untere Fläche QR aber wird mit einem Drucke emporgehoben, welche der Wassermasse OQRT entspricht. Da nun diese beiden Druckkräfte einander entgegengesetzt wirken und unter sich ungleich sind, indem der Druck von unten nach oben jenen von oben nach unten um die Differenz der Wassermassen OQRT und OPST, d. h. um die Wassermasse PQRS übertrifft: so wird der eingetauchte Körper PQRS durch eine Kraft von unten nach oben afficirt, welche dem Gewichte des Wassers in seinem Raume PQRS gleich ist. Auch erkennt man, daß der Seitendruck auf PQ dem Seitendrucke auf SR gleich und vollkommen entgegengesetzt sey, somit von ihm aufgehoben werde. Denkt man sich denselbigen Körper, in der Lage VWFE, tiefer in das Wasser eingetaucht, so wird auf ähnliche Weise erwiesen: daß die Kraft, womit ihn das Wasser zu heben strebt, dem Gewichte einer Wassermasse in dem Raume VWFE

gleich sey. Hierdurch ist folgender, für die Hydrostatik höchst wichtiger Satz bewiesen.

Jeder feste Körper, welcher in einen liquiden durchaus eingetaucht ist, wird in demselben mit einer Kraft gehoben, welche dem Gewichte des Flüssigen in dem Volumen des festen Körpers gleich ist; oder: feste, in liquiden eingetauchte Körper verlieren so viel von ihrem Gewichte, als das Gewicht des Flüssigen in ihrem eigenen Raume beträgt.

III. Folgender Versuch bestätigt die Wahrheit dieses Satzes. An der Wage ACB (Fig 21.) sey der hohle Cylinder von Messing D, woran sich vermittelst eines Fadens der massive Cylinder E befindet, welcher ganz genau in jenen hohlen eingeschoben werden kann, mit einem, in der Wagschale Q befindlichen Gegengewichte im Gleichgewichte. Wird nun dieser Cylinder E in das mit Wasser gefüllte Gefäß FMH so getaucht, daß er sich ganz in demselben befindet, so verliert er hierdurch von seinem Gewichte, und die Wagschale Q wird mit diesem Gewichtsverluste herabsinken. Füllt man nun den hohlen Cylinder D durchaus mit Wasser an, so wird das verlorne Gleichgewicht wieder hergestellt; zum offenbaren Beweise, daß der eingetauchte Cylinder E so viel von seinem Gewichte verloren habe, als das Gewicht des Wassers in seinem Raume beträgt.

IV. Wenn der in den liquiden Körper eingetauchte feste von größerem specifischen Gewichte, als der flüssige ist, so muß derselbe zu Boden sinken; und zwar mit einer Kraft, welche dem Ueberschusse seines specifischen Gewichtes über jenes der Flüssigkeit gleich ist. Man nennt diesen Ueberschuß das respective Gewicht; und es ist klar, daß eine Kraft, welche diesen Körper gegen das Untersinken schützen will, diesem respectiven Gewichte gleich seyn muß. Würde z. B ein, an einem Pferdehaare hängender Cubiczoll Blei frei schwebend in das Wasser getaucht, so verlöre er von seinem Gewichte das Gewicht eines Cubiczolls dieses

Wassers, und der noch übrig bleibende Theil seines Gewichtes bestimmte die Kraft, womit das Blei gehalten werden müßte.

V. An der Wage ABC (Fig. 22) sey das mit Wasser gefüllte Gefäß EMNF mit der Wagschale D und den darauf liegenden Gewichten im Gleichgewicht. Tauchte man nun den, an einem Pferdehaare hängenden Körper Q frey schwebend in das Wasser: so wird der Punkt A mit einer Kraft herabsinken, welche dem Gewichte des Wassers in dem Volumen des Körpers Q gleich ist; und die Hand, welche den Faden trägt, würde um so viel weniger zu tragen haben.

VI. Auch werden hieraus sehr leicht folgende Versuche erklärt:

a) An einer Wage stehen zwei mit Wasser gefüllte Gefäße im Gleichgewichte. Wenn man in jedes eine Elfenbein-Kugel von gleichem Volumen und Gewichte taucht, so wird dieses Gleichgewicht nicht gestört;

b) Brächte man in das eine Gefäß eine Kugel von Elfenbein, in das andere eine gleich große Kugel von Messing, so würde das Gleichgewicht ebenfalls bestehen;

c) Tauchte man aber in das eine Gefäß eine elfenbeinerne, in das andere eine gleichwichtige, messingene Kugel, so würde das Gefäß mit der Elfenbeinkugel herabsinken;

d) Enthielte das eine Gefäß reines Wasser, das andere aber Salzwasser; so würde, wenn man in jedes eine gleich große und gleichgewichtige Kugel von Elfenbein tauchte, das Gleichgewicht gestört werden;

VII. Die bisherigen Sätze müssen auch von liquiden Körpern gelten, welche verschiedene specifische Gewichte und keine Auflösungskräfte gegen einander haben. So sinket z. B. das Quecksilber im Wasser, und das Wasser im Oele zu Boden. Brächte man in ein ablanges Glas diese drei Flüssigkeiten zusammen, so würde das Quecksilber die unterste, das Wasser die mittlere, und das Oel die obere Stelle einnehmen; so daß ihre Grenzflächen wagerechte Ebenen bildeten. Gießet man

in ein reines cylindrisches Glas Quecksilber, flüssiges Weinsteinsalz, Weingeist, und Bergöl: so werden diese Flüssigkeiten in genannter Ordnung von unten nach oben über einander stehen. Wird das verstopfte Glas geschüttelt, so entsteht eine Vermengung dieser Körper, und die getrübte Masse stellt ein kleines Chaos dar, aus welchem sich durch allmählige Ruhe die einzelnen Flüssigkeiten wiederum nach voriger Ordnung absondern. Wenn feste Körper von verschiedenem specifischen Gewichte in Flüssigkeiten aufgelößt sind, und sich aus ihnen niederschlagen: so werden sie sich nach dem Verhältnisse ihrer specifischen Schweren über einander lagern, woraus man die ursprüngliche Bildung der schichtenförmigen Lagerstätten vieler Fossilien erklären kann.

§. 5.

Von den Erscheinungen des Schwimmens auf liquiden Körpern und in denselben.

I. Wenn sich ein fester Körper durchaus in einem liquiden befindet, und specifisch leichter, als dieser ist: so wird er mit einer Kraft in die Höhe gedrückt, welche dem Unterschiede dieser specifischen Gewichte gleich ist. Soll derselbe in der Flüssigkeit erhalten, und gegen das Aufsteigen geschützt werden, so muß eine Kraft von dieser Größe auf ihn einwirken. Auf diese Weise steigen die meisten Hölzer, sich selbst überlassen, in dem Wasser empor, so wie z. B. auch das Elfenbein, Glas und Eisen in dem Quecksilber, welche sämmtlich in dem Wasser untersinken. Auf gleiche Weise steigt auch das Oel im Wasser, das Wasser im Quecksilber, und der Rauch gewöhnlich in der Luft empor.

II. Ueberläßt man einen festen, sich in einem liquiden befindlichen Körper von schwererer Art sich selber, so muß er in ihm emporsteigen, und gelangt somit bis zu seiner Oberfläche. Hier wird er aber nicht bloß diese Oberfläche berühren, sondern sich zum Theil

über dieselbe erheben; zum Theil aber in demselben noch eingetaucht seyn. Man findet leicht, daß der Körper sich so tief eintauchen müsse, bis das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeit seinem ganzen Gewichte gleich ist. Es sey der Körper EH (Fig. 23.) halb so specifisch schwer, als das Wasser, welches in dem Gefäße ABC bis zur Höhe MN enthalten ist: so wird sich derselbe auf die Tiefe FH, welche die Hälfte von EH ist, eintauchen. Denn nun wird das Gewicht des in dieser eingetauchten Hälfte befindlichen Wassers dem Gewichte des ganzen Körpers EH gleich seyn. Tauchte sich ein Körper JL auf das Stück LK, welches ein Drittheil von LJ ist, in das Wasser, so müßte sich das specifische Gewicht dieses Körpers zu jenem des Wassers verhalten, wie 1 : 3. Tauchte aber der Körper PR so tief in das Wasser, daß der eingetauchte Theil QR zwei Drittheile von PR betrüge, so würde sich das specifische Gewicht des Wassers zu jenem dieses Körpers verhalten, wie 2 : 3, u. s. w.

III. Dieses Schwimmen der festen Körper leichterer Art auf specifisch schwereren Flüssigkeiten nennt man das hydrostatische Schwimmen, oder das Schwimmen auf der Flüssigkeit; und es ist klar, daß dergleichen festere Massen in den flüssigen ohne fremde Beihülfe gar nicht untersinken können. Ferner folgt daraus, daß feste Körper von gleichem absoluten Gewichte, aber von verschiedener specifischen Schwere, in specifisch schwereren liquiden Körpern so eintauchen, daß sie in ihnen gleiche Räume einnehmen. Denn es ist klar, daß z. B. ein Pfund Korkholz und ein Pfund Buchenholz sich in dem Wasser so tief eintauchen müssen, bis jeder dieser Holzkörper ein Pfund Wasser verdrängt hat, wozu allerdings einerlei Volumen erforderlich ist. Ferner folgt hieraus, daß specifisch leichtere feste Körper von gleichem Volumen, aber unter sich von verschiedenem specifischen Gewichte, ungleich tief in das Wasser sich eintauchen werden. Ein Cubicfuß Korkholz sinkt also nicht so tief in das Wasser, als ein Cubicfuß Eichenholz. Könnte man in diesem Falle die Größe der eingetauchten Stücke genau bemessen, so würde

das

Erster Abschnitt.

Von den verschiedenen Forstverwaltungen im Staate überhaupt.

§. 159.

Wenn wir einen Blick in die Geschichte der Waldungen werfen, so zeigt sie uns, daß in der frühern Vorzeit die Waldungen herrenlos waren, die von Jeden willkührlich benutzt, sodann in Besitz genommen, oder vielmehr durch die Nutzungs-Rechte, welche man sich in den Waldungen anmaßte, zum Eigenthum der Nutznießer wurden.

Später fing man an die in keinem bestimmten Besitze befindliche Waldungen als Staatseigenthum in Beschlag zu nehmen und zu benutzen, so wie gegen jede eigenmächtige Ausrodung zu sichern. Als die einzelnen deutschen Länder als Eigenthum an die deutschen Fürsten und Herren über gingen, so wurden ihnen auch die dazu gehörigen Waldungen mit übergeben. In jedem deutschen Staate bildeten sich demnach Staatsforste, neben welchen das Waldeigenthum von Privaten, Gemeinden und Korporationen bestand.

§. 160.

Von jener Zeit an bestand eine Forsthoheit, die obersten Staatsgewalten machten nämlich das Recht gel-

tend, außer der ausschließlichen Benutzung der Staatsforste, auch über die Erhaltung aller übrigen, hierunter nicht begriffenen Waldungen, welche in den Besitz von andern Staats-Einwohnern sich befanden, zu wachen und ihre Verwüstung durch Strafgesetze zu verhindern. Anfangs wurde sich dabei mehr auf Verbote gegen Misbräuche beschränkt, als daß Gebote und Anweisungen zur wirthschaftlichen Behandlung der Wälder erlassen wurden. Erst etwan im 14. Jahrhundert finden sich Spuren einer mehr geordneten Forstwirthschaft und einzelne Verfügungen zur Wiederanzucht und pfleglichen Nutzung der Waldungen. Erst von der Zeit an als die deutschen Fürsten und Herren das Forstregal an sich zogen und als endlich die Landeshoheit derselben, in der Mitte des 17. Jahrhunderts, vollkommen befestigt worden war, wurden umfassende Forstordnungen in den meisten deutschen Staaten erlassen, welche Vorschriften über die wirthschaftliche Behandlung der Wälder enthielten und wodurch also die Staats-Forstwirthschaft begründet würde.

§. 161.

Da nun die Leitung der Verwaltung und Benutzung der Forsten für den allgemeinen Staatszweck oder zum gemeinen Besten, in der Staatswirthschaft begründet ist; so hat der Staat die Verbindlichkeit, dem Forstbetrieb gegen die Gefährden eines einseitigen Privatinteresse zu sichern und also die nachhaltige Beholzigung aller Staatsbürger möglich zu machen und zu erleichtern. Eine jede Staatsregierung muß also darauf Bedacht nehmen, daß die Forste und ihre Benutzung, nicht blos dem Staate als Staat, das größte Einkommen gewähren, sondern daß alle Individuen die damit in Berührung kommen die größtmöglichste Beförderung ihres physischen Wohlseyns daraus erhalten.

§. 162.

Diesen Grudsätzen zufolge muß der Staatsgewalt die Forstpolicei oder die Forsthoheit über alle Waldungen im Staate zustehen, vermöge welcher sie die forst,

liche Betriebsamkeit oder die Erhaltung, Benutzung und möglichst höchste Verwerthung des Ertrags der Waldungen leitet und unterstützt und in dieser Hinsicht die Zwecke der Waldeigenthümer denen des Staats unterordnet.

Dagegen ist die Staatsgewalt auch verbunden, das Waldeigenthum vor allen Ereignissen und Handlungen, welche ihm und seine Benutzung gegen den Willen des Eigenthümers unmittelbar nachtheilig sind, zu beschützen oder zuzusichern, folglich die **Forstgerichtsbarkeit** über die Waldungen auszuüben.

§. 163.

Die Staatsgewalt hat also die Forstpolicei und Forstgerichtsbarkeit über alle Waldungen im Staate, ohne Unterschied des Eigenthums, auszuüben. Dieser Unterschied des Eigenthums veranlaßt aber noch eine Abtheilung der Forstverwaltung selbst, in so fern nämlich der Staat selbst Waldeigenthümer ist, oder in so fern die Waldungen ein Eigenthum der Staats-Unterthanen sind und der Staat über die Person des Waldeigenthümers, aus andern Gründen als denen der Forstpolicei eine nähere Aufsicht zu führen für nöthig findet.

Die erste wird die **Staats-Forstverwaltung.**

Die andere die **vormundschaftliche Forstverwaltung** genannt.

Erstes Kapitel.

Von den allgemeinen Grundsätzen der Staatsverwaltung.

§. 164.

Wenn der Staat selbst Waldeigenthümer ist, so muß er auch darnach streben daß die Staats-Forstwirthschaft den Bedürfnissen des Staats gemäß geleitet wird.

Der Staat muß durch seine Forstverwaltung, so gut wie der Private, den größten Ertrag vom Forstgrunde zu erhalten suchen, er muß daher auch diejenige Erzeugung am mehrsten begünstigen, woran das größte Bedürfniß statt hat und wornach folglich die größte Nachfrage ist, indem diese nicht nur am meisten einträgt, sondern wodurch auch den Bedürfnissen der Staatseinwohner abgeholfen wird.

§. 165.

Da der Staat seine Forsten zum gemeinen Besten verwalten läßt; so wird die Staatsforstverwaltung, als eine policeiliche Maasregel, für das Staatswohl bedingt. Der Staat muß also diesem gemäß den Forstbetrieb gegen die Gefahren eines einseitigen Privat-Interesse sichern und also die nachhaltige Beholzigung aller Staatsbürger möglich zu machen und zu erleichtern beabsichtigen. Er muß bei der Bewirthschaftung seiner Waldungen, um die höchste Benutzung herbei zu führen, die vollständige Zugutmachung jeder Art der Walderzeugung, welche ohne Nachtheil zu gute gemacht werden kann, zugeben, wenn auch die Staatskassen keinen unmittelbaren Gewinn davon haben, indem dem Staat immer der unmittelbare dabei gewiß ist.

§. 166.

Die Staatswaldungen als Gemeingut oder als Nationalforsten betrachtet, unterliegen vielen Anforderungen an Nutzungen aller Art, die aus denselben zu befriedigen, des allgemeinen Besten wegen, nicht umgangen werden können. Diese Leistungen bringen die Waldungen nicht blos in ihren Natural-Ertrag zurück, sondern sie vermindern auch den Reinertrag für die Staatskassen.

§. 167.

Die Verwaltung der Staatsforste bedarf unter solchen Verhältnissen einer besondern Aufmerksamkeit und die Anordnung von policeilichen Maasregeln, um sie in den Stand

zu setzen allen Anforderungen, in so weit sie das allgemeine Staatswohl erfordern, Genüge leisten zu können, wobei auch die Waldungen in dem Zustande erhalten werden müssen, daß sie den Staatskassen den möglichst größten reinen Ertrag gewähren.

§. 168.

Die Wirksamkeit der Forstpolicei muß bei der Staats-Forstverwaltung dahin gerichtet seyn, den Umfang derselben nach den örtlichen Verhältnissen zu bestimmen, damit dieselben, in Verbindung mit den übrigen Waldungen im Staate, die Befriedigung aller Bedürfnisse der Staats-Einwohner aus denselben bestritten werden können.

Die Größe oder der Umfang der Staatswaldungen muß also zunächst den Umfang der Gemeinds- und Privatwaldungen, sodann aber auch darnach bemessen werden, ob neben den gewöhnlichen Holzbedürfnissen, mehr oder weniger holzkonsumirende Werke vorhanden sind, die in staatswirthschaftlicher Hinsicht mit Vortheil betrieben werden können. —

Dabei ist eine vorzügliche Bedingung daß die Staatsforste zur Erleichterung ihrer Verwaltung eine zweckmäßig arrondirte Lage haben und in großen Flächen beisammen liegen.

§. 169.

Wenn der Umfang der Staatsforste über die eben bestimmten Verhältnisse hinausgeht, so muß eine Abtretung oder Veräußerung der überflüssigen erkannten Theile vorgenommen und sie auf den erforderlichen Umfang zurückgebracht werden. Bei einer unverhältnißmäßigen Größe derselben würde der Staat einen doppelten Verlust erleiden, einmal an den geringern Reinertrag der bei der größern Holzproduktion, als die Bedürfnisse erfordern, durch das Sinken der Preise für die Waldprodukte nothwendig statt finden müßte, sodann aber auch durch den Verlust der größern Wald-Flächen welche oft zu bessern Zwecken zu verwenden sind und dem Staate durch Veräußerung oder Abtretung ein reines Kapital verschaffen.

Zweites Kapitel.

Von den allgemeinen Grundsätzen der vormundschaftlichen Forstverwaltung.

§. 170.

Die Forstpolicei oder Forsthoheit und die Forstgerichtsbarkeit, welche die Staatsgewalt über alle Waldungen im Staate, ohne Unterschied des Eigenthums auszuüben hat, muß insbesondere in Hinsicht derjenigen, welche kein Staats-Eigenthum, sondern das Eigenthum von andern Staats-Angehörigen sind, genau bestimmt werden.

Die Ausübung der Forstpolicei und Forstgerichtsbarkeit über diese letztern Arten von Waldungen bezweckt vorzüglich, daß solche so verwaltet werden, damit sie durch ihren Ertrag in Verbindung mit den der Staatsforsten das Bedürfniß der Staats-Einwohner befriedigen helfen und dabei den Eigenthümern einen möglichst hohen Ertrag gewähren, sodann aber auch diese Waldungen den Nachkommen erhalten werden.

§. 171.

Schon aus diesen Gründen muß die Staatsgewalt hier einschreiten, damit nicht das persönliche und augenblickliche Interesse der Waldbesitzer zu weit und zum Nachtheil des Ganzen ausgedehnt wird. Der Staat steht aber auch zur Person mancher Waldeigenthümer in einer nähern Beziehung, vermöge welcher er die Verwaltung des Vermögens vorzugsweise beaufsichtigt, oder für den Eigenthümer selbst übernimmt. Hierdurch rechtfertigt sich die vom Staate übernommene vormundschaftliche Forstverwaltung.

§. 172.

Die vormundschaftliche Forstverwaltung erstreckt sich daher vorzüglich auf das Waldeigenthum der Stiftungen, Gemeinden und anderer Körperschaften. Mit den Waldeigenthum von Privat-Personen hat es eine andere Bewandniß. Das Vermögen derselben kann nicht und nur dann erst vom Staate verwaltet werden, wenn die Privatpersonen auf die eine oder andere Art unfähig geworden sind dasselbe weiter zu verwalten. Ihre Waldungen stehen aber dennoch in so fern unter der forstpoliceilichen Aufsicht der Staatsbehörden, daß sie ohne jede Einmischung und Einschränkung der Privatbetriebsamkeit, die Privatwaldungen blos gegen sorglose oder muthwillige Verwüstung sichern muß.

§. 173.

Die vormundschaftliche Forstverwaltung theilt sich in die forsttechnische Aufsicht und in die allgemeine vormundschaftliche Fürsorge für das Oekonomische des Forsthaushaltes. Beide haben ihre bestimmte Gränzen und wo die Gränze der ersten aufhört fängt die Wirkung der zweiten an. Die forsttechnische Aufsicht wird von dem Lokalforstbehörden ausgeübt und von der Oberforstdirektion geleitet, die vormundschaftliche Fürsorge über die zweckmäßigste Verwendung und Verwerthung der gewonnenen Waldprodukte, steht den Regiminalbehörden erster Instanz zu und wichtigere Gegenstände und Rekursangelegenheiten gehören für die oberste Regiminalbehörde.

Die forstpoliceiliche Aufsicht über die Privat-Waldungen wird einzig von den einschlägigen Forstbehörden ausgeübt und es der Willkühr der Privatpersonen überlassen über Verwendung und Verwerthung ihrer Waldprodukte selbst zu bestimmen.

§. 174.

Die **Forstpolicei** insbesondere wird in ihrer Anwendung in die Sicherheits-Policei und in die Wirth-

schaftspolicei abgetheilt. Die erstere unterstützt die Maasregeln der Waldeigenthümer zur Sicherung ihrer forstlichen Betriebsamkeit; die letztere unterstützt die wirthschaftlichen Anordnungen des Waldeigenthümers und ordnet sie dem Staatszwecke unter.

Vermöge der Forstgerichtsbarkeit beschützt die Staatsgewalt das Waldeigenthumsrecht, bringt es da wo es streitig ist zur Klarheit und wo eine offenbar widerrechtliche Beeinträchtigung des Waldeigenthums durch Beschädigung oder Diebstahl statt findet, den Thäter zur Strafe, den Eigenthümer aber zur möglichsten Schadloshaltung.

§. 175.

In Hinsicht der Forstsicherheits = Policei muß die Grenze bezeichnet werden in Hinsicht der Ansprüche welche der Waldeigenthümer an den Staat zu machen hat und die Bedingungen, welchen er in der Hinsicht unterworfen seyn soll. Hiebei können folgende allgemeine Bestimmungen statt finden.

1) Ein jeder Waldeigenthümer muß allen gesetzlichen Anordnungen zur Beschützung der Waldungen gegen nachtheilige Ereignisse als: Brand, Ueberschwemmung, Flugsand, Insektenverheerungen ꝛc. befolgen.

2) Er kann seine Waldungen durch jede beliebige Person bewohnen und beschützen lassen, jedoch müssen diese Waldaufseher, wenn sie als schützendes Forstpersonal betrachtet werden sollen, von der Oberforstbehörde bestätigt und von der Justitzbehörde verpflichtet werden.

3) Ein Eigenthümer der eine so große Waldfläche besitzt, daß er die Verwaltung durch einen Andern besorgen läßt, muß einen solchen Forstverwalter vom Staate bestätigen lassen, und derselbe hat sich zuvor die Fähigkeit desselben durch eine Prüfung zu versichern.

4) Ein jeder Waldeigenthümer kann zum Schutze der forstwirthschaftlichen Anordnungen Heegen anlegen und jeden der nicht ausdrücklich dazu berechtigt ist, den Eingang und die Durchfuhr in und durch sein Eigenthum verbieten, er hat nicht das Recht die Ueber-

treter zu strafen, wohl aber sie beim Strafrichter zu verfolgen.

5) Ein jeder Waldeigenthümer kann mit seinen Waldarbeitern und mit den Empfängern seiner Waldnuzzungen über Conventionalstrafen übereinkommen, welchen sie bei Unterlassung oder Begehung der einen oder andern auf den Forsthaushalt sich beziehenden Handlungen unterworfen seyn sollen.

§. 176.

In dieser Hinsicht der Forstwithschafts-Policei hat die Staatsgewalt solche Anordnungen zu treffen, damit das Waldeigenthum in der Art benutzt wird, wie es für die Gesammtheit und für den Staatszweck am zuträglichsten ist. Die Wirthschaftspolicei hat daher in den Fällen in welchen der Privatzweck dem Staatszwecke bei Benuzzung des Waldeigenthums entgegengesetzt ist den Eigenthümer in seinem Eigenthumsrechte zu beschränken und dem Streben der einzelnen Eigenthümer zur Beförderung ihrer einseitigen Wohlfahrt in so weit entgegen zu wirken als es die Sicherung des Gemeinwohls erheischt. Der Staat hat aber auch dafür zu sorgen, daß die gegenwärtige Generation sich nur ihren verhältnißmäßigen Antheil zu Nutze macht aber auch der folgenden die Befriedigung ihres Holzbedarfs gesichert bleibt. —

§. 177.

Der Wirkungskreis der Forstwirthschaftspolicei dehnt sich im Allgemeinen über folgende Gegenstände aus, und worüber die verbietende Bestimmungen gegeben werden:

1) Daß keine Waldfläche, die einmal dafür angenommen und bestimmt ist, ohne Genehmigung der Forstpolicei-Behörde, zu einer andern Benutzung als zur Holzzucht, verwendet werden darf.
2) Daß keine abgeholzte Waldfläche länger als etwan 4 Jahre nach der Abholzung der Holzzucht entzogen bleiben darf.

3) Daß keine Umwandlung eines Waldes in einer andern Holzart und in einen andern oder schädlichen Wirthschafts-Betrieb, als die bisherigen ohne Genehmigung der Forstpolicei-Behörde geschehen darf.

4) Daß kein Wald unter einen nach Verschiedenheit der Lokalitäten festzusetzenden Alter abgetrieben werden darf ohne Zustimmung der Forstpolicei-Behörde.

5) Daß keine Waldfläche unter einem nach den Lokalitäten festzusetzenden Alter zur Viehweide, zum Laub- und Streusammeln benutzt werden darf.

6) Daß kein Holzhieb außer der gewöhnlichen und nach der Lokalität näher zu bestimmenden Zeit, ohne besonderes Vorwissen der Lokal-Forstpolicei-Behörde, vorgenommen werden darf.

7) Daß ein jeder Waldbesitzer, einen jeden Verkauf von Waldeigenthum und jede Uebernahme von Verbindlichkeiten auf seinem Wald, welche mit den vorstehenden Bestimmungen im Widerspruch stehen, anzuzeigen und die Genehmigung der Forstpolicei-Behörde nachzusuchen hat.

§. 178.

So wie nun die Forstpolicei überhaupt ihre Wirksamkeit auf alles Eigenthum ohne Unterschied seiner rechtlichen Beschaffenheit ausdehnt, so muß auch ein jeder welcher auf Nutzungen aus dem Walde eines Andern berechtigt ist, seine Ansprüche mögen nun entweder in Holz, Laub, Weide, Jagd oder andern Gegenständen bestehen, sich den forstpoliceilichen Bedingungen in dem Maaße, wie der Eigenthümer dies selbst zu thun schuldig ist, unterwerfen. Ist der Waldeigenthümer in Streit mit den Berechtigten so kann das Wirken der Forstpolicei dadurch nicht suspendirt bleiben, sie muß aufrecht erhalten und der Streit kann nur auf dem Rechtswege und nach den allgemeinen Landesgesetzen entschieden werden.

§. 179.

Die Forstgerichtsbarkeit steht mit der Forstpolicei in der genauesten Verbindung, indem sie bei wider-

rechtlichen Eingriffen in das Waldeigenthumsrecht, über die dem Eigenthümer zu leistende Schadloshaltung und von dem Thäter zu erduldende Strafe, so wie bei Uebertretung der forstpoliceilichen und andern Anordnungen, welche für forstliche Zwecke getroffen werden, erkennt und die Gesetze über die Strafbarkeit solcher Handlungen in Anwendung bringt.

§. 180.

Die Forstgerichtsbarkeit ist als ein Ausfluß der Forsthoheit zu betrachten und es steht also der Staatsgewalt zu, solche über ein jedes Waldeigenthum im Staate auszuüben und jeden Waldeigenthümer derselben unterzuordnen.

Diesem zufolge müssen alle Forstvergehen ohne Unterschied in welchem Waldeigenthum sie sind begangen worden, vor die vom Staate dafür angeordnete Gerichtsstelle gebracht und von derselben nach den Forstgesetzen darüber erkannt werden. —

Zweiter Abschnitt.

Von der Staatsforstverwaltung insbesondere.

§. 181.

Die Staats-Forstverwaltung begreift diejenigen Grundsätze nach welchem die Staats-Forste ihrem policeilichen Zwecke gemäß am vortheilhaftesten für das allgemeine Beste verwaltet werden.

Es liegt insbesondere in den Wirkungskreis der Forstdirektions-Behörde die Forstwirthschaft in den Staats-Forsten zu reguliren, für solche sichere und feste Grundsätze zu bestimmen, um jede willkührliche Bewirthschaftung der Waldungen, welche unsichere und ungleiche Resultate hervorbringen, vorzubeugen und die zweckmäßigste Verwaltung der Staatsforste durch angemessene Bestimmungen zu sichern.

§. 182.

Die Grundsätze einer zweckmäßigen Verwaltung der Staatsforste beruhen vorzüglich auf eine nachhaltige Bewirthschaftung der Waldungen oder auf die Bestimmungen wie der Betrieb der Waldungen geschehen muß, wenn bei einer sich stets gleich bleibenden möglichst vortheilhaftesten Benutzung derselben, solche jederzeit in dem besten Zustande

erhalten werden. Daß und wie die darauf sich beziehende Grundsätze zur Anwendung kommen, darüber hat die Forstdirektions-Behörde zu wachen und dieselben zur allgemeinen Anwendung vorzuschreiben.

Die zu diesem Zweck erforderlichen Bestimmungen dehnen sich auf folgende besondere Gegenstände aus:

1) auf die Forstvermessung,
2) auf die Forststatistik,
3) auf die Forstabschätzung,
4) auf die Holzzucht,
5) auf den Forstkulturbetrieb,
6) auf die Forstnutzung,
7) auf die Verwendung der Forstprodukte,
8) auf die Forstschutzverwaltung,
9) auf das Forstrechnungswesen,
10) auf das Forstkassenwesen,
11) auf das Korrespondenz- und Registraturwesen.

Erstes Kapitel.

Von der Staats-Forstvermessung.

§. 183.

Die Forstvermessung kann als die Grundlage zur Abschätzung der Forsten und beide zur Anordnung eines regelmäßigen Forstbetriebes betrachtet werden.

Bei der Nützlichkeit und Nothwendigkeit der Vermessung aller Staatsforste, bei den wegen der Ausdehnung derselben, damit verbundenen bedeutenden Kosten- und Zeitaufwand und bei der Richtigkeit und Pünktlichkeit, womit das Geschäft ausgeführt werden muß, weil sich darauf die Bestimmungen der Forstwirthschaft des Staates vorzüglich stützt; muß die Forstvermessung nicht nur übereinstimmend

durch alle Forste, sondern auch mit möglichsten Fleis ausgeführt werden.

§. 184.

Die Forstdirektionsbehörde hat die nöthigen Anordnungen zur Forstvermessung zu treffen und die Bestimmungen, wie solche ausgeführt werden soll, zu erlassen.

Es kommen bei der Forstvermessung folgende Gegenstände in Betracht:

1) Die Vorbereitungen zur Forstvermessung.
2) Die Vermessung selbst.
3) Die Revision und Berechnung.
4) Die Kartirung der Forste.

§. 185.

I. Die Vorbereitungen zur Forstvermessung.

Damit das Geschäft um so schneller fortrücken kann, muß vor der wirklichen Vermessung selbst alles, was darauf Bezug hat, in Ordnung gebracht seyn.

Die Forstdirektions-Behörde hat zu diesem Ende vorher die Gränzen gehörig berichtigen zu lassen; das Maaß, womit gemessen und wonach die Karten aufgetragen werden sollen, zu bestimmen und das Personale welches zu der Forstvermessung gebraucht werden soll zu ernennen und zu instruiren.

§. 186.

Bestimmte und richtige Grenzen werden bei einer jeden Forstvermessung vorausgesetzt. Es muß zwar angenommen werden, daß alle Forstgrenzen immer in möglichster Richtigkeit sich befinden, wenigstens bald herstellt werden können, indessen doch vor Anfang der Messung alle Grenzen welche die Waldungen von allen übrigen Grundstücken und von jedem fremden Eigenthum scheiden, genau nachgesehen und in Ordnung gebracht werden.

§. 187.

Die Erhaltung der Richtigkeit der Grenzen aller Waldungen liegt schon in der Dienstfunktion der Lokalforstbehörden. Diesen ist es daher vor der Forstvermessung besonders aufzutragen diese Richtigkeit ganz herzustellen.

Um die Grenzen möglichst bald zu berichtigen, dürfte folgendes Verfahren dabei am zweckmäßigsten seyn:

1) Daß die Lokalforstbehörden alle nicht gehörig bezeichnete oder unrichtige Grenzen doppelt abpfählen.
2) Daß mittelst eines legalen Grenzzuges sämmtliche Grenzen revidirt, über die bestrittenen Grenzlinien, wo möglich, entschieden oder eine Ausgleichung zu Stande gebracht wird.
3) Daß bei Grenzen gegen das Ausland hin, eine sehr sorgfältige Abgrenzung und die Aufnahme einer Grenzkarte vorgenommen wird.
4) Daß diejenigen Forstgrenzen, welche bleibend sind, also gesichert werden müssen, nach und nach statt der Pfähle mit dauerhaften und nach Umständen leichten Grenzmalen versehen werden.

§. 188.

Die Forstvermessungen erfordern eine genaue Uebereinstimmung der dabei gebrauchten Masse, theils um die Arbeit besser revidiren zu können, theils um die Karten besser zusammensetzen und überhaupt wenn sie alle nach einen gleichförmigen Maaß aufgetragen sind, aus der allgemeinen Ansicht derselben die Vergleichung der ohngefähren Größe der einzelnen Waldungen und Forste besser beurtheilen zu können.

§. 189.

Gewöhnlich wird zu den Forstvermessungen das in jedem Lande eingeführte Normalmaaß bestimmt und der leichtern Rechnung wegen die Ruthe in 10 Theile oder Fuße getheilt. Für das Längenmaaß zu den Vermessungen selbst werden ganz genaue Stangen oder Ruthen am besten von

Eisen verfertigt, hiernach die Meßketten genau bezeichnet und solche von Zeit während der Messung, der Uebereinstimmung wegen, mit jener verglichen.

Der verjüngte Maaßstab zum Auftragen der Karten wird verhältnißmäßig gegen das Normalmaaß und für eine jede besondere Karte bestimmt, um wie viel die Fläche auf dem Papier kleiner als die wirkliche Figur im Freien werden soll.

§. 190.

Für die Forstvermessungen und damit verbundene Zeichnung der Karten sind zu diesem Geschäfte taugliche und geprüfte auch gehörig instruirte Subjekte anzustellen. Zunächst sind die bei der Karten-Registratur der Oberforstdirektion angestellten Forstgeometer dafür zu verwenden und da auch forstliche Kenntnisse dazu zugleich nöthig sind, so werden außerdem noch solche Aspiranten für den Forstdienst dazu bestimmt, welche die dazu erforderlichen Kenntnisse besitzen. Das sämmtliche Vermessungs-Personale ist zwar noch zu prüfen, ihm, damit die Arbeit gleichförmig gemacht wird, eine bestimmte und ausführliche Instruktion zu ertheilen und dasselbe auf die genaue Befolgung derselben zu beeidigen.

§. 191.

Die Leitung und Aufsicht des ganzen Forstvermessungs-Geschäftes, muß einem Manne der die vollkommenste Kenntniß davon besitzt, etwan unter der Benennung: Vermessungs-Direktor oder Inspektor übertragen werden. Dieser hat von Zeit zu Zeit die Arbeiten nachzusehen, die Geometer näher zu instruiren und er muß für das ganze Geschäft verantwortlich seyn.

§. 192.

II. Die Forstvermessungsarbeiten selbst.

Da man zwar annehmen kann, daß die äußern Grenzen eines zu ermessenden Forstes, zu andern Zwecken genau auf-

der Natur und der Kunst. Nur einige sollen hier zur Erläuterung beigebracht werden. Der Stechheber MN (Fig 30.) ist eine oben und unten offene, etwa 15 — 20″ lange, in der Mitte etwas bauchig gestaltete Blechröhre, oben mit zwei Handhaben zum bequemern Halten versehen. Gesetzt, diese Röhre sey durchaus mit Wasser gefüllt, die obere Oeffnung bei M werde mit dem Finger genau geschlossen, die untere aber bleibe offen, so wird nichts von dem Wasser herausfließen: denn der Druck der äußern Luft, welcher von unten nach oben gegen die Oeffnung N einwirkt, wäre hinreichend, um einer Wassersäule von ungefähr 32′ das Gleichgewicht zu halten. Wäre dieser Stechheber von Glas, so könnte er mit Quecksilber gefüllt werden, aber die Höhe MN dürfte hier etwa nur einige zwanzig Zoll betragen.

II. In dem Gefäße ABC (Fig. 31.) befinde sich das Wasser auf der Höhe MN; D und F seyen zwei durchaus mit Wasser angefüllte Gefäße, umgekehrt und etwas unter der Wasserfläche MN stehend: so wird weder aus dem einen, noch aus dem andern das Wasser ausfließen, was ebenfalls eine leichte Folge aus dem Daseyn des äußern Luftdruckes ist. Aus eben diesem Grunde kann man an einem mit Wasser durchaus angefüllten, überall verschlossenen Fasse, wo man nur immer will, eine kleine Oeffnung anbringen, ohne daß die Flüssigkeit ausfließet. Wird aber zugleich der Spund gelüftet, so wirkt die Luft auch von oben ein, und das Fluidum fließt hervor. Auf gleichem Grunde beruht auch die Wirkung der sogenannten magischen Kanne, bei welcher man aus Einer Oeffnung verschiedenartige Flüssigkeiten, einzeln oder zusammen, nach Belieben ausgießen kann.

III. Auch müssen hier die Erscheinungen des Zughebers, eines so bekannten als nützlichen Werkzeugs, erklärt werden. Die winkelig gebogene Röhre DEF (Fig 32.) sey durchaus mit Wasser gefüllt, und befinde sich dergestalt in dem, bis zur Höhe MN mit Wasser gefüllten Gefäße ABC eingetaucht, daß die äußere Oeffnung tiefer als der Wasser-Spiegel MN

liegt: so wird, wenn man die Bedeckungen der Oeffnungen D und F hinwegnimmt, das Wasser aus F so lange hervorfließen, als sich die Mündung D noch in dem Wasser befindet. Um diese Erscheinung zu erklären, verlängere man die Linie MN nach O, ziehe durch F die FR mit OM gleichlaufend, und dann von E die senkrechte Linie ER herab: so ist die Kraft, womit das in EF befindliche Wasser aus F zu fließen strebt, dem Produkte aus dem Maaße der Fläche F in das Maaß des Lothes ER proportional; desgleichen ist die Kraft, womit das Wasser in ED bei D auszufließen strebt, dem Produkte aus dem Maaße dieser Oeffnung D in das Maaß der senkrechten Höhe EQ gleich, wie aus hydrostatischen Sätzen bekannt ist. Daher hat das Wasser bei F ein größeres Streben auszufließen, als bei D, und der Ausfluß muß bei F wirklich beginnen. Sollte nun das in EF wirklich befindliche Wasser allein ausfließen, so entstände bei E ein luftleerer Raum. Dieser aber kann nicht gebildet werden, da der Luftdruck auf die Oeffnung D groß genug ist, um das Wasser auf die Höhe QE zu erheben. Es wird daher durch diesen Luftdruck ununterbrochen von D bis E erhoben, und muß somit aus F ununterbrochen hervorfließen. Wollte man sagen, „der Luftdruck äußere auch gegen die Mündung F dieselbige Wirkung, wie gegen D" so ist schon vorhin bemerkt worden: daß das Wasser in EF ein größeres Streben habe bei F auszufließen, als jenes in ED in Bezug auf die Oeffnung hat. Wäre der äußere Schenkel bei O abgekürzt, und befände sich der Heber OED ganz voll Wasser: so könnte auch bei O kein Ausfluß statt finden, aber der ganze Heber würde angefüllt bleiben. Wäre aber DET dieser angefüllte Heber, bei welchem die Oeffnung T oberhalb der wagrechten Linie MO läge, so würde alles Wasser nach der Richtung TED zurückfließen: weil nun die Kraft auszufließen bei D größer ist, als bei T. Ueberhaupt sieht man hieraus, daß das Fließen des Hebers nicht davon abhängt, daß der äußere Schenkel ET gerade länger, als der andere ED sey. Die Be-

Bedingniß ist vielmehr diese, daß die Mündung F des äußern Schenkels, in Bezug auf die Wasserfläche MN, unterhalb derselben liege. Je tiefer sich F unterhalb derselben befindet, desto schneller wird der Ausfluß aus F geschehen. Bildete daher (Fig. 33.) die Glasröhre CDE einen Heber, bei welchem die beiden Schenkel eine parallele Lage haben: so müßte, wenn derselbe durchaus angefüllt und mit dem Schenkel DC in das Wasser des Gefäßes AMB getaucht würde, der Ausfluß aus E am schnellsten geschehen, da dieser Schenkel DE nun eine lothrechte Richtung hätte.

§. 3.

Der Barometer, dessen Einrichtung, Gebrauch und Nutzen.

I. Die Erfindung des Torricellischen Versuchs veranlaßte ein anderes, dem Naturforscher höchst schätzbares Werkzeug, welches man **Barometer** (Baroscop oder Luftdruckmesser) nennt. Wenn die torricellische Röhre, in Verbindung mit dem dazu gehörigen Gefäße, zu verschiedenen Zeiten des Tages und Jahres beobachtet wird, so lehrt die Erfahrung: daß die Quecksilbersäule bald etwas größer, bald aber kleiner erscheint. Da aber diese Quecksilbersäule das Maaß des jedesmaligen Luftdruckes ist, so folgt deutlich: daß dieser Luftdruck selbst bald stärker, bald geringer sey. Weil aber diese Vorrichtung nicht bequem zu transportiren ist, so schlug man eine andere Einrichtung vor. Die torricellische Röhre AL (Fig. 34.) wurde zunächst bei L gekrümmt, und mit einem sich erweiternden Gefäße, woran sich bei R eine enge Oeffnung befand, verbunden. Wenn nun das Quecksilber in diesem Gefäße bei N, in der Röhre AL aber bei B steht; so ist, wenn man durch N die wagrechte Linie NM zieht, BM die Höhe der Quecksilbersäule, welche dem gegenwärtigen Luftdrucke entspricht; AB aber die torricellische Leere. Dieses Barometer nannte man, seiner Gestalt wegen, das **Kapselbarometer**; es

ist klar, daß man dasselbe mit mehr Bequemlichkeit transportiren und auch z. B. auf höhere Punkte über der Erdfläche d. h. auf mäßige Berge bringen könne. Hier wird nun der Versuch lehren, daß die Quecksilbersäule BM sich stufenmäßig verkürze, so wie man allmählich bedeutender empor steigt: weil auch die, dieser Quecksilbersäule entgegenwirkende Luftsäule allmählich kürzer wird. Soll BM kürzer werden, so muß der Punkt N sich erheben; und es ist klar, daß die Oberfläche des Quecksilbers in B, und jene bei N hierdurch näher zusammenrücken werden.

II. Eine andere Einrichtung des Barometers hat de Luc vorgeschlagen. Man nennt sie das heberförmige Barometer oder das Heberbarometer. Die Schenkel BM (Fig. 35.) und NH der Heberröhre BRH haben eine parallele Richtung, der kürzere ist bei H offen, der längere bei B geschlossen. Wenn nun das Quecksilber in jenem bei N, in diesem aber bei C steht: so ist, indem man die Horizontallinie MN zieht, CM die dem Luftdrucke entsprechende Quecksilbersäule. Nun hatte man gegen den Gebrauch dieses Werkzeugs folgenden Einwurf gemacht. Wenn sich der Luftdruck so sehr vermindert, daß die Quecksilbersäule z. B. nur Einen Zoll verkürzt werden müßte: so müßte dieses Kürzer-werden von CM ein Emporsteigen des Punctes N, und zwar ebenfalls von einem Zolle zur Folge haben. Nun seyen aber, sagte man, die Puncte C und N einander um zwei Zoll näher gerückt, da dieses doch nur um einen Zoll hätte geschehen sollen. Dieser Einwurf verschwindet, wenn man bedenkt, daß hier der Punct C nur um einen halben Zoll zu sinken, der Punct N aber nur um einen halben Zoll zu steigen braucht: damit die neue Quecksilbersäule gerade um einen Zoll kürzer werde. Denkt man sich daher mitten zwischen C und M eine wagerechte Linie DF: so wird die Länge der, den gegenwärtigen Luftdruck bezeichnenden Quecksilbersäule gefunden, wenn man das Maaß von DC zum Maaße von TN addirt. Da dieses Heberbaro-

meter seine so höchst einfache Gestalt hat, so wurde ihm vor allen andern der Vorzug eingeräumt.

III. Erfordernisse zu gut eingerichteten Barometern sind folgende:

a) Die Schenkel der gläsernen Heberröhre müssen genau cylindrisch, gleich weit, gehörig calibrirt, parallel gerichtet, weder zu weit noch zu enge auch weder feucht noch rauh oder unrein seyn.

b) Das Quecksilber darin muß rein, d. h. frei von allen fremdartigen Stoffen, besonders von Zinn oder Blei, auch von atmosphärischer Luft seyn, welche letztere man durch gehöriges Erwärmen demselben rauben kann.

c) Die torricellische Leere muß ein wirkliches Vacuum seyn; denn wenn sie lufthaltig ist, so wird sie dem Steigen des Quecksilbers hinderlich, dem Fallen aber förderlich. Auch wirkt die Wärme auf sie ein, und vermehrt diesen störenden Einfluß. Um sich von der Reinheit des Raumes BC (Fig. 35.) zu überzeugen, neige man den Barometer schief gegen die Linke, so lange bis das Quecksilber von C nach B gestiegen ist. Erfüllt es nun diesen Raum vollkommen, so ist keine Luft darin; bleibt aber bei B ein kleines Bläschen sichtbar, so ist die Einrichtung fehlerhaft.

d) Die Scala wird vom Puncte D gegen C und von F gegen N in Zollen, Linien und Zehntheilen von Linien auf das Genaueste aufgetragen, um sodann durch die Addition der beobachteten Höhen DC und FN die verlangte Quecksilbersäule zu finden. Hinsichtlich der Beobachtung, sey das Auge immer in einer wagerechten Linie, mit dem höchsten Puncte der Convexität des Quecksilbers in C und in N. Denn wenn das Auge zu tief oder zu hoch steht, so wird man die Maaße zu groß oder zu klein finden.

e) Da die Wärme alle Körper und somit auch die Quecksilbersäule des Barometers ausdehnt, so muß man in dieser Hinsicht die nöthige Correction anbringen. Nach sorgfältigen Versuchen beträgt die Ausdehnung einer Quecksilbersäule vom Eispuncte bis zur Siedhitze des Wassers 516‴. Da man nun bei

Barometer-Beobachtungen die Normaltemperatur von 10°R annimmt: so kann für jeden andern Thermometerstand der Einfluß der Wärme auf die vermehrte Ausdehnung der Quecksilbersäule im Barometer durch die Regel de Tri gefunden werden. Auch kann man denselben von $\frac{1}{4}$° zu $\frac{1}{4}$° im Voraus berechnen.

IV. Von dem Barometer macht man eine sehr nützliche Anwendung zur Bestimmung der Gebirgshöhen über der Fläche des Meeres. Wenn man nämlich die Quecksilbersäule am Fuße eines hohen Berges bemerkt, allmählich höher emporsteigt, und ihren Stand jedesmal beobachtet, so wird sich dieselbe allmählich verkürzen, und auf der Spitze des Berges weit weniger, als im Thale betragen. Gesetzt, man steigt jedesmal so hoch, bis sich die Quecksilbersäule genau um eine Linie verkürzt hat, und mißt die senkrechten Höhen, welche dieses tiefere Sinken veranlassen: so könnte man eine Scale verfertigen, welche für einen gegebnen Stand des Barometers, zugleich auch die Höhe des ihr entsprechenden Ortes angäbe. Man hat gefunden, daß die Quecksilberhöhen nach einer geometrischen Progression abnehmen, wenn die Höhen der Standorte von unten nach oben in arithmetischer Progression zunehmen. Wäre nun der Quecksilberstand an der Erdfläche 28″ oder 336‴ und man müßte 78′ in die Höhe steigen, damit diese Säule sich um eine Linie verkürze, oder 335‴ betrage: so wird für jede folgende Höhe von 78′ die Quecksilbersäule nach dem Verhältnisse von 336 : 335 abnehmen. Folgende Tabelle erläutert dieses:

Höhe des Standortes	Barometer-Höhe
An der Meeresfläche	336,0 Lin.
Auf der Höhe von 780 Fuß	326,1 „
„ „ „ „ 1560 „	316,5 „
„ „ „ „ 2340 „	307,3 „
„ „ „ „ 3120 „	298,2 „
„ „ „ „ 3900 „	289,5 „
„ „ „ „ 4680 „	281,0 „
„ „ „ „ 5460 „	272,7 „
„ „ „ „ 6240 „	264,7 „

Auf der Höhe von	7020	Fuß	=	=	=	256,9 Lin.
= = = =	7800	=	=	=	=	249,4 =
= = = =	8580	=	=	=	=	242,1 =
= = = =	9360	=	=	=	=	235,0 u. s. w.

Durch geometrische Messung wurde die Höhe von Quito über der Meeresfläche zu 8796 Par. Fuß gefunden, welche, nach vorstehender Tafel berechnet, 8697 Fuß seyn würde. Wenn man nach vorhergehender Tabelle so weit fortschreitet, das die Barometerhöhe nur Eine Linie betrüge, so gehörte dazu eine Höhe von 152224 Fuß, welche beinahe 6½ deutsche Meilen beträgt. Ob aber das Gesetz der abnehmenden Spannkraft der Luft bis zu einem so unbedeutenden Drucke statt finde, ist noch unentschieden. Barometer, so eingerichtet, daß man die Quecksilbersäule in ihnen sperren, und das ganze Instrument in dem Innern eines hohlen Stockes bequem transportiren kann, nennt man Reisebarometer.

V. Als Wetterglas ist das Barometer von geringerem Werthe Obwohl es ausgemacht ist, daß Veränderungen des Wetters fast immer theils mit größeren, theils mit kleineren Veränderungen des Luftdruckes verbunden sind: so hängt die Bildung desselben doch nicht einzig und allein von diesem Luftdrucke ab, und die Erfahrung hat nur in wenigen Fällen eine feste Regel bestimmt, wie man aus dem Barometerstande auf das Wetter schließen könne. Wenn z. B. bei eintretendem Nord= oder Ost= oder Nord-Ostwinde sich der Himmel erheitert und das Barometer allmählich einen höhern Stand des Quecksilbers zeigt: so pflegt das heitere Wetter von längerer Dauer zu seyn. Wenn aber umgekehrt bey Süd= oder West= oder bei Südwestwind sich Regen einstellt, und die Quecksilbersäule nach und nach sehr tief herabsinkt: so pflegt die nasse Witterung einige Zeit anzuhalten. Ein plötzliches und bedeutendes Fallen des Quecksilbers ist gewöhnlich ein Vorbote von mehr oder weniger heftigen Winden u. s. w. Doch sind auch diese Regeln bisweilen trüglich.

VI. Auch hat man an dem Barometer mancherley Künsteleyen angebracht, und hierdurch diesem Instrumente seine ursprüngliche Einfachheit und Brauchbarkeit mehr oder weniger geraubt. Nur eine dieser Einrichtungen soll hier erklärt werden. In (Fig. 36.) ist die Torricellische Röhre CB von B bis A unter einem Winkel von 135° gebogen. Wenn nun AM die Torricellische Leere bedeutet, und die Quecksilbersäule sollte sich z. B. um die senkrechte Linie MN verkürzen: so würde sie in der Röhre AB von M bis Q herabsinken, und folglich einen größern Raum zurücklegen, wodurch auch kleinere Veränderungen in der Bewegung derselben bemerkbar gemacht werden sollten. Man sieht aber: daß sich das Quecksilber in der Röhre AB nicht so frey und leicht hin und her bewegen könne, wie dieses bei der senkrechten Röhre der Fall ist. Eben so wenig zu empfehlen ist das Doppelbarometer, das Radbarometer, das rechtwinklige Barometer und andere.

§. 4.

Bestimmung des Maaßes der Expansivkraft der Luft. Das Mariottische Gesetz, nebst Anwendungen.

I. Das Kapselbarometer ACD (Fig. 37.) sey so vorgerichtet, daß die Oeffnung N durch den Hahn F nach Belieben luftdicht verschlossen werden kann; in der Kapsel M stehe das Quecksilber bey D, in der Röhre AC aber bey B. Wird nun der Hahn F geschlossen und hierdurch die Wirkung des äußern Luftdruckes durchaus weggenommen, so bleibt demungeachtet das Quecksilber unverrückt auf dem Punkte B stehen. Es ist also nun nicht mehr das Gewicht der äußern Luftsäule, welche der Quecksilbersäule BE das Gleichgewicht hält; sondern nur die Expansivkraft der in M eingesperrten Luftmasse kann dieses bewirken. Hierdurch ist der so wichtige Satz bewiesen: die Expansivkraft der in der Kapsel eingesperrten atmosphärischen Luft ist, obwohl ihre Masse nicht viel beträgt, der Druckkraft der atmosphä-

rischen Luft von außen vollkommen gleich. Daher dienet die Quecksilbersäule BE nicht blos als Maaß des gegenwärtigen Luftdruckes, sondern auch als Maaß der Expansivkraft. Daß aber Schwerkraft und Expansivkraft der Luft einerley Maaß haben müssen, folgt daraus: daß z. B. die unterste Luftschicht auf der Erdfläche das Gewicht aller obern zu tragen hat, und daher durch eine Kraft comprimirt seyn muß, welche jenem Drucke entspricht. So groß aber die Kraft ist, womit eine Luftmasse zusammengepreßt wird: so groß wird auch das Streben dieser Luftmasse seyn, sich wiederum auszudehnen. Hieraus folgt: daß die obern Luftschichten der Atmosphäre allmählich dünner und folglich auch weniger expansibel werden, als die untern es sind. Wo aber die Luft von einer solchen Dünne seyn werde, daß sie ihr Minimum erreicht hat, d. h. wo die Grenze der Atmosphäre seyn werde, läßt sich hierdurch nicht bestimmen.

II. Hieraus erklärt sich die Erscheinung: daß der so bedeutende äußere Luftdruck, welcher auf dem menschlichen Körper lastet, keine nachtheiligen Wirkungen hervorbringt. Denn auch in dem Innern des Körpers befindet sich allerwärts Luft, welche durch ihre Expansivkraft jenem äußern Drucke das Gleichgewicht hält. Aus gleichem Grunde wird eine vierkantige, sehr dünne, luftdicht verschlossene Glasflasche, obwohl die Luft mit sehr bedeutender Kraft von außen auf sie einwirkt, dennoch nicht zerschmettert: weil die Expansivkraft der eingesperrten Luft dieses verhindert. Wenn aber eine luftdicht verschlossene, mit Luft aus der niedern Gegend gefüllte, mit einem Hahne versehene Flasche auf eine große Höhe gebracht und der Hahn daselbst geöffnet wird: so strömt ein Theil der eingesperrten Luft mit hörbarem Geräusche hervor, und die Flasche wird nun mit jener Luft gefüllt seyn, welche in der Höhe vorhanden ist. Schließt man jetzt den Hahn und öffnet ihn dann wieder in der Tiefe, so strömt ein Antheil der äußern Luft von außen hinein, um der innern Luft dieselbige Dichtheit dieser äußern zu geben. Bey Reisenden, welche sehr

hohe Berge besteigen, tritt gewöhnlich Nasenbluten ein, weil die verhältnißmäßig erhöhte Expansivkraft der in den Blutgefäßen eingesperrten Luft diese feinen Gefäße zersprengt.

III. Von großer Wichtigkeit für die Bestimmung der Expansivkraft der Luft ist das sogenannte Mariottische Gesetz, welches Mariotte zuerst entdeckt hat. Es sey (Fig. 38) AF die Torricellische Röhre und CB die gegenwärtige Höhe der Quecksilbersäule. Läßt man nun von der äußern Luft einen Theil, welcher den Raum AD einnimmt, durch F in die Röhre treten, so wird das Quecksilber nicht von C nach D, sondern etwa bis E herabsinken; so, daß EB die Höhe der noch bleibenden Quecksilbersäule ist. Da nun der Raum AE mit einer dünnern Luft erfüllt ist, so wird die Expansivkraft dieser Luft, nebst dem Drucke der Quecksilbersäule EB, nunmehr dem Drucke der äußern Luft, oder der Quecksilbersäule CB gleich seyn. Da aber CB aus den Theilchen CE und EB besteht, so ist das Maaß der Expansivkraft der in AE enthaltenen verdünnten Luft dem Drucke der Quecksilbersäule CE gleich. Nun findet man durch genaue Messung, daß AD : AE = CE : CB ist. Da nun AD der Raum der äußern, AE jener der verdünnten Luft, CE das Maaß der Spannkraft dieser verdünnten Luft, und CB jenes der Expansivkraft der äußern Luft ist: so hat man für eine, (in Bezug auf die äußere) dünnere Luft den Satz bewiesen: daß sich die Expansivkraft dieser Lufträume umgekehrt wie die, diese Luftmassen komprimirenden Kräften verhalten. Da es schwierig ist, eine Luftmasse vom Raume AD in die Röhre FA treten zu lassen: so kann sie zuerst nur so weit mit Quecksilber gefüllt werden, daß der Raum AD mit Luft angefüllt bleibt.

IV. Es sey (Fig 39.) PRM eine communicirende Röhre, deren längerer Schenkel bei P offen, deren kürzerer aber bey M so vorgerichtet ist, daß er nach Belieben geöffnet und geschlossen werden kann. Die zwey Oeffnungen seyen unverstopft, und es befinde sich eine kleine Quecksilbermasse auf der Höhe ON.

Nun werde M luftdicht geschlossen, durch P aber Quecksilber nachgegossen: so steigt dasselbe von N gegen M z. B. bis Z empor, wenn es sich im längern Schenkel bey X befindet. Die Expansivkraft der in MN enthaltenen Luft bestimmt das Maaß der Barometer-Höhe; jene der in ZM comprimirten Luft aber ist dieser Barometer-Höhe nebst der Quecksilbersäule XF proportional. Hier findet man nun immer, daß MZ : MN = Bar. H. : Bar. H + XF ist; woraus abermals hervorgeht, daß sich die Räume der verdichteten und unverdichteten Luft umgekehrt, wie die Kräfte verhalten, welche nöthig waren, um sie in jene Räume zu pressen. Versuche haben gelehrt: daß das Mariottische Gesetz noch bey der vierfachen und bey der achtfachen Verdichtung gültig sey. Ob es für jeden Verdichtungsgrad gelte, ist unbekannt: denn es bleibt unentschieden, ob bey sehr hohen Graden der Compression die physische Beschaffenheit der Luft selbst keine Veränderung erleidet.

V. Hier noch einige Anwendungen von den bisherigen Lehren:

a) Das sogenannte Saugen mit dem Munde beym Trinken, Tabackrauchen u. dergl. bewirkt ein gestörtes Gleichgewicht der Expansivkraft der Luft. Indem man z. B. eine enge Röhre unten in das Wasser, oben in den Mund bringt, und durch den Mechanismus des Saugens die Brusthöhle erweitert: so entsteht auch im Innern des Mundes und im Innern der Röhre ein verdünnter Luftraum. Da nun die äußere Luft mit ungeschwächter Spannkraft auf das Wasser drückt: so hebt sie dasselbe in der Röhre empor, und führt es dem Munde zu, wenn diese Röhre nur nicht unverhältnißmäßig lang ist. Eben hierauf beruht auch der Mechanismus des Einathmens und des Anfüllens der Zugheber. Auch gehört die bekannte Wirkung des Blasebalgs hierher u. dergl. m.

b) Wenn der Stechheber NM (Fig 40.) nur bis AB in das Wasser getaucht, bey M mit dem Finger luftdicht geschlossen und sodann aus dem Wasser herausgenommen wird: so lehrt die Erfahrung, daß bey

N anfangs etwas weniges Wasser ausfließt, daß aber dieses Ausfließen sogleich beendiget ist. Da sich nämlich in dem Raume zwischen AB und B eine Portion der äußern Luft befindet, welche durch ihre Spannkraft so stark auf das zwischen AB und N enthaltene Wasser wirkt, als der äußere Luftdruck bei N entgegen wirkt: so muß dieses Wasser vermöge seiner Schwerkraft, bey N auszufließen anfangen. Durch dieses Ausfließen wird aber die eingesperrte Luft sogleich verdünnt, und es tritt sehr bald der Zustand jenes Gleichgewichtes ein, durch welches die verminderte Expansivkraft dieser Luft, nebst dem Drucke des Wassers zusammengenommen, dem Gegendrucke der äußern Luft gleich sind, und nun ist das Ausfließen beendigt. Würde der Stechheber durchaus mit Wasser gefüllt, und bey M gehörig verschlossen, so könnte bey N nicht das Mindeste ausfließen, wie bereits oben bemerkt worden ist.

c) Das mit Luft angefüllte Gefäß A (Fig. 41) ist auf der einen Seite mit der Röhre BDE, deren Mündung E in das bis PQ mit Wasser angefüllte Gefäß reicht; auf der andern Seite aber mit der Winkelröhre CFH versehen, deren Mündung H in das Gefäß L luftdicht eingelassen ist. An diesem Gefäße befindet sich bey M eine kugelförmige Oeffnung; bey R aber eine mit dem Hahne N versehene Röhre RO. Wird nun durch die Oeffnung M das Gefäß L mit Wasser gefüllt, sodann luftdicht verstopft und nun der Hahn N geöffnet: so fließt dieses Wasser bey O hervor, bewirkt in L einen luftleeren Raum, welchen die Luft in A gleichförmig auszufüllen strebt. Daher entsteht auch in der Röhre LD ein verdünnter Luftraum, und das Wasser muß, durch den ungeschwächten äußern Luftdruck in der Röhre ED emporsteigen und sich bey B in das Gefäß A ergießen. Da die Röhren LD, FH, RO zwar heberartig verbunden, jedoch durch die Gefäße A und L wiederum getrennt sind: so hat man dieser Vorrichtung den Namen eines unterbrochenen Hebers gegeben.

VI. Diesem unterbrochenen Heber habe ich folgende Einrichtung gegeben, welche dazu dient, irgend

eine Flüssigkeit in bestimmter Menge, z. B. den Wein aus dem Fasse, in ein Gefäß zu erheben, woraus man ihn sodann bequem abzapfen kann. Der Cylinder AB (Fig. 42.) besteht aus zwei Behältern A und B, welche durch die schiefe Scheidewand GC getrennt sind. In A befindet sich die enge Röhre GF, welche die Luft in A mit jener in B vermittelst der Oeffnungen F und G verbindet; auch ist bey H eine trichterförmige Oeffnung, welche durch einen Korkstopfen luftdicht verschlossen werden kann. Im Behälter B ist die Röhre CD so angebracht, daß ihre Mündung C mit dem Raume A communicirt; und unter einem Winkel DO wird sie sodann, mit einem bey D befindlichen Hahne, nach außen fortgesetzt. Ein gleicher Hahn T befindet sich bey V, und aus der Oeffnung M steigt die Röhre MN, bey R mit einem Hahne versehen, herab. Das Ganze befindet sich auf einem Gestelle von 3 Füßen, und kann hierdurch über ein Gefäß (auch z. B. über die Spundöffnung des Fasses) so gestellt werden, daß sich die Oeffnung N in der Flüssigkeit befindet. Der Hahn bey D und P sey geschlossen, bey R offen; der Raum A werde durchaus mit Wasser gefüllt, bey H luftdicht verstopft, und nun der Hahn D geöffnet. Indem nun das Wasser durch CDO aus O hervorfließt, entsteht in A ein verdünnter Luftraum, und die Luft in B strömt durch GF zum Theil dorthin über. Daher entsteht auch in B eine verdünnte Luft, und der Druck der äußern Luft hebt die Flüssigkeit durch die Röhre NM in den Raum B empor. Wenn A durchaus wasserleer ist, so muß B mit dem liquiden Körper angefüllt seyn. Wird nun R geschlossen, H geöffnet, so kann man die Flüssigkeit in B durch den Hahn T bequem abzapfen.

VII. Auch gehört noch der sogenannte Heronsbrunnen hierher. Es sey (Fig. 43.) das cylindrische Gefäß ABNM durch die Scheidewand CD in zwey gleiche Theile getheilt, und oben mit einem vorstehenden Rande FABG, auch mit der Oeffnung S versehen, welche man nach Belieben schließen kann. Eine luftdicht durch CD tretende Röhre RT verbindet die

äußere Luft mit der in CDNM enthaltenen; die Röhre WV aber stellt die Verbindung der Luft in der untern und obern Abtheilung her. Durch die Mitte des obern Bodens ACB tritt die Röhre HO luftdicht, welche in X mit einem Hahne, in H aber mit einer engen Oeffnung versehen ist. Nun gieße man den obern Raum bis zur Höhe PQ voll Wasser und verschließe die Oeffnung S luftdicht. Füllt man hierauf die Röhre RT mit Wasser, so wird dasselbe anfangs bey T ausfließen, die in CDNM enthaltene Luft etwas verdichten, und etwa bis YZ emporsteigen. Auch gieße man in die Schale FABG etwas Wasser. Nun ist klar, daß die in CDZY enthaltene Luft durch eine Kraft zusammengepreßt wird, welche dem Wasserdrucke in der Röhre RT proportional ist. Wegen der Verbindungsröhre WV muß auch die Luft in ABQB gleichmäßig verdichtet seyn, und mit erhöhter Spannkraft auf die Wasserfläche PQ drücken. Wird nun der Hahn X geöffnet, so muß das Wasser durch H mit eben dieser Kraft hervorgetrieben werden, und somit einen kleinen Springbrunnen bilden. Da dieses Wasser in die Schale TABG zurückfällt, so fließet es von Neuem durch die Röhre RT in den untern Raum CDNM, und erhält die Luft des obern Raumes in fortgesetzter Verdichtung; da aber die Wasserfläche PQ allmählich sinket, die Wasserfläche YZ aber allmählich steigt, so wird die Kraft, welche die Luft in dem obern Raume comprimirt, immer kleiner; der Widerstand des in der Springröhre OH zu erhebenden Wassers aber allmählich größer, wodurch die Höhe des Wasserstrahls nothwendig vermindert wird.

VIII. Die Wärme, welche alle Körper ausdehnt, hat einen vorzüglichen Einfluß auf die Erhöhung der Expansivkraft der atmosphärischen Luft. Einige Anwendungen sollen dieses erläutern.

a) Es sey MN (Fig. 44 a.) ein scheibenförmiges Bleistück, und L eine mit wohl geebnetem Rande versehene Bleiglocke, welche durch Hülfe einiger Oeltropfen luftdicht auf diese Scheibe gestellt werden kann. Läßt man in dieser umgekehrten Glocke etwas

weniges Weingeist verbrennen, so wird ein Theil der eingesperrten Luft durch ihre hierdurch vermehrte Expansivkraft herausgetrieben; und wenn man nun die Glocke schnell auf die Scheibe setzt, und wiederum erkalten läßt, so kann man dieselbe vermittelst der Glocke emporheben. Der überwiegende Druck der äußern Luft ist die Ursache davon.

b) Auch gehört der Springbrunnen durch erwärmte Luft hieher. Auf dem mit Luft gefüllten Blechgefäße RSQP (Fig. 44, b.) befindet sich das mit einer Schale ABC versehene Gefäß PQFE. Durch die Mitte der Schale tritt die Springröhre DBO bis beinahe zum Boden hinab; auch sind zwei Röhren EM und FN so angebracht, daß sie bey M und N mit dem untern Luftgefäße luftdicht verbunden sind, und mit ihren Oeffnungen E und F beynahe bis zur Schale hinaufreichen. Die Springspitze DB läßt sich abschrauben und sodann das Gefäß PQFE etwa bis VW mit Wasser anfüllen. Wird nun diese Spitze wieder aufgeschraubt und die in L befindliche Luft durch Hülfe der Wärme (z. B. durch einige brennende Kerzen) ausgedehnt: so pflanzt sie ihren erhöhten Druck durch die Röhren ME und NF in den obern Luftraum fort, wodurch die Wasserfläche VW so bedeutend afficirt wird, daß das Wasser bey D hervorspringt.

c) Auch die bekannte Wirkung der sogenannten Schröpfköpfe beruht hierauf. Nachdem z. B. am Arme die kleinen Verwundungen bewirkt worden sind, wird der Schröpfkopf, dessen innere Luft durch Erwärmung verdünnt wurde, luftdicht darüber gesetzt. Sobald nun die zurückgebliebene Luftmasse wiederum abgekühlt ist, so wirkt die unter der Oberhaut eingesperrte Luft mit erhöhter Expansivkraft und befördert hierdurch das Ausfließen des Blutes. — Auch folgt aus dem Bisherigen, daß die wärmere Luft in der kältern emporsteigen muß, und daß z. B. in einem erwärmten Zimmer Luftströmungen statt finden werden; indem sich die erwärmte Luft zur Decke erhebt, die weniger warme aber gegen den Ofen hinzuströmt. Will man den durch die Wärme bewirkten Grad der Luftver-

dünnung anschaulich machen, so lasse man ein kupfernes, kolbenförmig gestaltetes, mit einem Hahne versehenes Gefäß verfertigen, setze dasselbe mit geöffnetem Hahne einem lebhaften Kohlenfeuer aus, wodurch eine verhältnißmäßige Menge der eingesperrten Luft entweichen muß. Wird nun der Schnabel desselben in das Wasser eines Gefäßes getaucht und der Hahn geöffnet: so wird durch den äußern Luftdruck so viel Wasser hineingetrieben, als das Volumen der durch die Wärme vertriebenen Luft betrug. Hätte man das Wasser des ganzen Gefäßes und nun auch das hineingetretene Wasser gewogen, so könnte der Verdünnungsgrad der Luft durch die Wärme ungefähr bestimmt werden.

§. 5.

Einrichtung, Theorie und Gebrauch der Wasserpumpen und Wasserspritzen.

I. Da die Wasserpumpen so bekannte, als nützliche Maschinen zur Erhebung des Wassers sind, und ihre Wirkung auf dem gestörten Gleichgewichte des äußern Luftdruckes beruht, so gehört ihre Erklärung vorzüglich daher. Man theilt sie in Saugpumpen und in Druckpumpen ab. Die Einrichtung einer Saugpumpe ist im Wesentlichen folgende. ABCD (Fig. 45.) ist ein hohler Cylinder, der Stiefel genannt, an dessen Boden sich die Röhre MN und die Klappe E befindet, welche ihre Oeffnung M genau verschließen kann. Die Oeffnung N reicht unter die Wasserfläche VW. Diese Röhre MN heißt die Saugröhre. Im Innern des Stiefels befindet sich der in seiner Mitte durchbohrte, bei Q mit einer Klappe versehene, vermittelst der Stange QK bewegliche Stämpel FH, welcher mit einem schwammigen Leder umgeben, wasserdicht in dem Innern des Stiefels auf und ab bewegt werden kann. Bei S ist die Ausgußröhre angebracht. Wenn sich nun der Stämpel FH an dem Boden DC befindet und derselbe

selbe nach Oben bewegt wird: so entsteht in dem Innern des Stiefels ein verdünnter Luftraum, die äußere Luft drückt mit erhöhter Kraft auf die Wasserfläche VW, und treibt einen Antheil Wasser durch die enge Röhre in das Innere des Stiefels empor, wobei die Klappe bei E geöffnet wird. Wird nun der Stämpel wieder abwärts bewegt: so muß die Klappe E theils wegen des sich darüber befindlichen Wassers, theils auch wegen der darüber stehenden, nunmehr wieder comprimirten Luft geschlossen werden. Die Klappe Q aber wird geöffnet, um entweder das bei P eindringende Wasser oder die vorhandene Luft hindurch zu lassen. Bei abermaliger Erhebung des Stämpels wird die Klappe Q wieder geschlossen, indem entweder das Wasser oder die Luft dieses bewirkt. Die Klappe E aber öffnet sich wieder, und es steigt neues Wasser in dem Stiefel empor. Beim Herabdrücken des Stämpels tritt dasselbe durch P über denselben empor, und muß, bei seinem Wiedererheben durch die Röhre S ausfließen. Hieraus folgt: daß die Klappen bei E und Q sich abwechselnd öffnen und schließen, so wie der Stämpel hinauf oder hinab bewegt wird. Auch ist klar, daß nur jenes Wasser, welches sich bis zur Klappe Q erstreckt, durch den Druck der äußern Luft emporgehoben werde: da das über dem Stämpel stehende Wasser durch die mechanische Kraft, welche auf ihn einwirkt, ferner erhoben wird. Endlich erkennt man, daß der Ausfluß bei S nicht ununterbrochen statt findet, indem er nur vom Erheben des Stämpels abhängig ist. Sollte aber dieser Ausfluß demungeachtet gleichförmig erfolgen, so müßte die Röhre S eine gehörig verengte Oeffnung haben. Außerdem geht auch hieraus die Beschränkung dieser Saugpumpen hervor: indem die Höhe zwischen der Wasserfläche VW und dem höchsten Puncte des Stämpels keine 32 Fuß betragen darf. Soll das Wasser auf eine noch größere Höhe erhoben werden, so muß dieses durch jene Kraft geschehen, welche den Stämpel in die Höhe bewegt.

II. Die andere Art der Pumpen bilden die

Saugwerke, deren Einrichtung folgende ist. In dem Stiefel ABCD (Fig. 46.) befindet sich der massive Stempel M, welcher durch die Stempelstange N wasserdicht auf und ab bewegt werden kann. An dem Boden ist die Saugröhre Q, welche unter die Wasserfläche PT reichet und durch die Klappe O geschlossen werden kann. Zur Seite ist die winkelförmig gebogene Steigröhre VEF mit der Ausgußröhre H angebracht; bei R befindet sich eine Klappe, welche sich gegen dieselbe öffnet, und in entgegengesetzter Richtung verschließet. Wird nun der Stempel emporbewegt: so entsteht in dem Stiefel ein verdünnter Luftraum, die Klappe R wird durch den Gegendruck der äußern Luft geschlossen, O aber durch das emporsteigende Wasser geöffnet und hierdurch ein Theil des Stiefels angefüllt. Bewegt man den Stempel hinab: so wird die Klappe O geschlossen, jene bei R aber geöffnet, und ein Theil des Wassers tritt in die Steigröhre VEF etwa bis W empor. Wird der Stempel wieder hinaufbewegt: so bleibt die Klappe R verschlossen, und es steigt durch die geöffnete Klappe O wiederum neues Wasser empor; welches, wenn der Stempel wieder hinabgetrieben wird, wie vorhin in der Steigröhre empor steigen muß, bis es bei H seinen Ausfluß erhält. Dieser Ausfluß ist ebenfalls unterbrochen, indem er nicht bei dem Emporziehen, sondern nur beim Hinabdrücken des Stempels statt findet. Sollte das Wasser ununterbrochen bei H ausfließen, so müßte die Mündung dieser Röhre gehörig verengt werden. Da das Wasser in der Steigröhre durch den mechanischen Druck des Stempels emporsteigt, so kann dasselbe hierdurch auf bedeutende Höhen gebracht werden.

III. Theils um einen ununterbrochenen Ausfluß des Wassers zu erhalten; vorzüglich aber, um eine größere Menge Wassers in der nämlichen Zeit zu erheben, hat man die sogenannten doppelstiefeligen Pumpenwerke ersonnen. In zwei neben einander stehenden Stiefeln werden die Stempel durch Hülfe des sogenannten Pumpenschwengels abwechselnd auf

und nieder bewegt; so, daß der eine steigt, wenn der andere fällt, und umgekehrt. Hierdurch wird bei jedem Stempelzuge das Wasser erhoben, welches durch eine gemeinschaftliche Röhre in größerer Menge hervorfließt. Anstatt der scharnierartigen Klappen bedient man sich häufig der sogenannten Kegel=Ventile, d. h. kleiner abgekürzter Metallkegel, welche in eine ihnen gleiche, hohle Kegelfläche einpassen, durch den Druck des Wassers gehoben werden, demselben durch die hierdurch entstehende Oeffnung den Durchgang gestatten, und sodann wieder zurückfallen um diese Oeffnung zu verschließen. Auch ist die Bodenklappe des Stiefels bisweilen gänzlich in dem Wasser eingetaucht.

IV. Auch die Wasserspritzen gehören hierher. Eine einfache Construction derselben ist folgende. In dem Stiefel ABEV (Fig. 47.) kann ein wohl einpassender Stempel C auf und ab bewegt werden. Am Boden desselben befindet sich die Steigröhre H, deren obere Oeffnung durch die Klappe N geschlossen werden kann. Zur Seite ist eine, unten weitere, mit der Klappe L versehene, nach oben aber sich allmählich verengende Röhre angebracht. Aus dieser Einrichtung geht hervor: daß durch das Erheben des Stempels de innere Raum des Stiefels mit Wasser angefüllt werde, welches, wenn dieser Stempel schnell wieder hinabgedrückt wird, aus der Oeffnung N in Gestalt eines Wasserstrahles hervorgetrieben werden muß. Auf diese Art sind die gewöhnlichen Handspritzen beschaffen, welche, wie man leicht einsieht, keinen ununterbrochenen Wasserstrahl bewirken können. Um einen solchen zu erhalten, hat man die Federkraft der atmosphärischen Luft sinnreich benutzt, und den sogenannten Windkessel mit den Spritzen verbunden. Es sey (Fig. 48.) ABCV der Stiefel, M der massive Stempel, O die Bodenklappe, R die Steigröhre, und LV ein Gefäß von Kupfer, in welchem sich bei P die Seitenklappe, bei D aber die Springröhre DH befindet. Wird der Stempel hinauf bewegt, so füllt das emporsteigende Wasser den Stiefel. Wird

er hinabbewegt, so muß dasselbe durch die Klappe P in das Gefäß LW herübertreten, und die darin befindliche Luft um etwas zusammenpressen. Wird nun der Stempel möglichst schnell auf und ab bewegt, so steigt das Wasser, welches nicht schnell genug durch H hervorspringen kann, immer höher in diesem Windkessel empor, und verdichtet die Luft dergestalt: daß sie, auch bei dem Hinaufsteigen des Stempels, vermöge ihrer Elasticität mit großer Kraft auf das Wasser in W einwirkt, wodurch nun der Wasserstrahl auch fortbesteht. So wie es doppelstiefelige Wasserpumpen gibt, so hat man auch doppelstiefelige Wasserspritzen eingerichtet, deren Construction aus dem Bisherigen klar ist. Auch lassen sich bei diesen sehr zweckmäßig die Windkessel anbringen, um die Federkraft der Luft zur Verstärkung zu benützen.

§. 6.

Beschreibung der Luftpumpen mit Hahn und mit Ventil. Ihre Wirkungen und gegenseitigen Vorzüge.

I. Die Luftpumpe, eines der wichtigsten Werkzeuge für die Naturwissenschaft, verdankt ihre Erfindung einem Deutschen, dem bekannten Otto von Guerike, Bürgermeister von Magdeburg; welcher die ersten, höchst auffallenden Versuche zu Regensburg im Jahr 1654 vor Kaiser Ferdinand III. öffentlich angestellt hatte. Von dem Jesuiten Caspar Schott wurden sie in den Schriften: Ars mechanico-hydraulico-pneumatica, Herbip. 1657. und: Ottonis de Guerike experimenta nova, ut vocantur, Magdeburgica, de vacuo spatio. Amstelod. 1672 bekannt gemacht. Die wesentliche Einrichtung dieser merkwürdigen Geräthschaft ist folgende. Es sey CDBA (Fig. 49.) ein, in dem Innern sehr wohl polirter Cylinder von Messing, welchen man den Stiefel nennt. In demselben kann der massive, luftdicht anschließende Stempel E mit der Stämpelstange EF auf und ab bewegt werden. In der Mitte von AB befindet sich die Aufsatz-Röhre M,

welche bei K mit einem Hahne versehen ist. Oben trägt sie den sogenannten Teller HN, d. h. eine runde, wohl polirte, mit niedrigem Rande versehene Messingplatte, worauf man Glasglocken wie L mit wohlabgeschliffenem und mit etwas Oel befeuchtetem Rande aufsetzt, welche Recipienten heißen. Damit der Stempel E luftdicht anschließet, wird derselbe mit schwammigem Leder umgeben und gehörig mit Oel getränkt. Der Hahn K ist doppelt durchbohrt; einmal so, daß durch seine Oeffnung die Verbindung der Luft in L mit jener im Stiefel hergestellt wird; und dann auch so, daß bei einer Viertelsumdrehung die Luft im Stiefel mit jener des Recipienten abgeschnitten, aber mit der äußern Luft hergestellt wird. Der Teller HN wird mit etwas Oel an der Stelle bestrichen, wo ihn der Rand des Recipienten berührt, damit letzterer luftdicht anschließe. Bisweilen werden auch lederne, mit Wasser etwas befeuchtete Ringe auf diesen Teller gelegt, um den Rand des Recipienten darauf zu setzen. Bei V ist die Röhre I mit einer Schraube versehen, damit andere Gefäße z. B. Glaskolben mit messingenen Hülsen und Hähnen, luftdicht angeschraubt werden können.

II. Der Stempel E befinde sich bei AB; der Hahn K sey so gestellt, daß die Verbindung der Luft in L mit dem Stiefel hergestellt ist; auch schließe der Recipient luftdicht am Teller. Wird nun der Stempel bis CD herabbewegt, so entstände im Stiefel ein luftleerer Raum. Da aber die Luft in L Expansivkraft besitzt, so verbreitet sie sich in dem ganzen Raume LABE mit gleichförmiger Dichtheit. Wird nun der Hahn K so gedreht, daß die Verbindung des Stiefels mit dem Recipienten abgeschnitten, aber mit der äußern Luft hergestellt ist, und der Stempel E gegen AB gedrückt: so muß die dazwischen liegende Luft durch die Oeffnung des Hahns nach außen entweichen, und die Luft in L wird schon bedeutend verdünnt seyn. Stellt man nun den Hahn wieder in die erste Richtung, und bewegt den Stempel nach DC, so tritt von neuem ein Theil der Luft aus L in den Stiefel über. Bekömmt

der Hahn die zweite Stellung, so muß, wenn der Stempel nach AB bewegt wird, die Luft im Stiefel abermal ins Freie übergehen, und die Luft in L eine noch größere Verdünnung erlitten haben. Betrüge der Raum, welcher durch das Zurückbewegen des Stempels in dem Stiefel entsteht, gerade so viel, als der Luftraum unter der Glocke und in der Verbindungsröhre: so würde, wenn man diesen Raum = 1 setzt, die Verdünnung nach dem Gesetze: $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{32}$ u. s. f. erfolgen. Aber es kann unter dem Recipienten niemals ein vollkommen luftleerer Raum entstehen. Man nennt diesen verdünnten Luftraum das vacuum Guerikeanum, oder die Guerikeische Leere, welche kein so vollkommen Vacuum, als die Torricellische Leere ist. Doch kann die Verdünnung durch gute Luftpumpen bis auf das 800fache getrieben werden. Auch erkennt man leicht, daß durch die Luftpumpe nicht blos die Expansivkraft der unter dem Recipienten befindlichen Luft, sondern auch die Schwerkraft der äußern Luft bewiesen werden kann: indem schon nach einigen Stämpelzügen dieser Recipient so fest auf den Teller angedrückt wird, daß man ihn nicht wegnehmen kann. Gibt man aber dem Hahne K seine Stellung, worin die äußere Luft mit jener unter der Glocke in Verbindung tritt: so wird jene mit hörbarem Geräusche hineindringen, und nun kann man den Recipienten wieder wegnehmen.

III. Die Luftpumpen mit Klappen oder mit Ventilen haben folgende Einrichtung. In dem Stiefel CDBA (Fig. 50.) befindet sich bei F eine Klappe, welche gegen den Stempel hin geöffnet und von ihm weg geschlossen wird. Der luftdicht auf und ab zu bewegende Stempel ist bei E durchbohrt und mit der Klappe I versehen. Anstatt dieser Klappenventile bedient man sich meist der sogenannten Blasenventile. Auf der engen Röhre PQK befindet sich der Teller MN mit der Glocke L. Wird nun der Stämpel von AB bis E zurückgezogen, so entsteht im Stiefel ein leerer Raum; die äußere Luft

schließt die Klappe I, die Expansivkraft der Luft in L aber öffnet die Klappe F, wodurch der Gesammtraum gleichförmig angefüllt wird. Bewegt man nun den Stämpel gegen AB, so wird das Ventil F geschlossen, die Klappe I aber geöffnet; wodurch die zwischen E und AB befindliche Luft in die äußere übertritt. Werden nun diese Bewegungen des Stempels abwechselnd fortgesetzt, so ist klar, daß sich die Ventile bei F und I abwechselnd öffnen und schließen werden, und daß die Luft in L sich immer mehr verdünnen müsse.

IV. Die Luftpumpe mit Hähnen hat vor der Ventil-Luftpumpe zwei Vorzüge:

Fürs Erste kann durch sie ein höherer Grad von Verdünnung bewirkt werden. Denn die Luft unter dem Recipienten wird sich, bei jedem Grade ihrer verminderten Spannkraft, durch die Oeffnung des Hahns dergestalt in den Stiefel verbreiten können, daß sie beide Räume gleichförmig erfüllt. Bei der Luftpumpe mit Ventilen aber muß die Klappe des Stiefels durch die Expansivkraft der Luft gehoben werden, und die Verdünnung hat ihre Grenze erreicht, wenn dies nicht mehr geschehen kann.

Fürs Zweite kann man diese Einrichtung auch zur Verdichtung der Luft, d. h. als Compressionspumpe gebrauchen, wenn man die Drehung des Hahns und des Stämpels nur in verkehrter Ordnung vornimmt, und auf die Röhre M bei V z. B. ein kolbenförmiges, mit Schraube und Hahn versehenes Glasgefäß luftdicht aufschraubt.

Der Vorzug aber, welchen die Ventil-Luftpumpen vor jenen mit Hähnen haben, besteht in der größern Bequemlichkeit ihres Gebrauchs, indem man den Stämpel nur auf und ab zu bewegen, keineswegs aber den Hahn jedesmal zu drehen braucht. Indessen hat man durch sinnreiche Vorrichtungen auch die Luftpumpen mit Ventilen zur Verdichtung der Luft brauchbar gemacht, wie z. B. die von Smeaton erfundene, von Kästner, Karsten und Lichtenberg beschriebene ist. Auch hat man die Luftpumpen mit Hähnen dadurch bequemer eingerichtet, daß der Hahn

durch die Bewegungen des Stämpels schon unmittelbar seine jedesmalige Richtung erhält, wie z. B. bei der Branderischen Einrichtung der Fall ist.

V. Auch die Luftpumpe ist auf mannigfaltige Weise in ihrer innern und äußern Einrichtung abgeändert worden. Vorzüglich brauchbar sind die doppelstiefeligen Luftpumpen, welche eine weit schnellere Verdünnung der Luft bewirken. Eine der gewöhnlichsten ist die Hawksbee'sche. Die beiden Stämpelstangen sind gezahnt, ein Stirnrad greift in dieselben und kann durch eine Kurbel hin und her gedreht werden, wodurch die Stämpel abwechselnd fallen und steigen. Die sogenannte Serguerd'sche Luftpumpe war lange Zeit im Gebrauche. Sie hat einen Hahn, einen schiefliegenden Stiefel, in welchem die gezahnte Stämpelstange durch Hülfe eines kleines Rades und Haspels aus und ein kann gewunden werden. Leupold's Luftpumpe hat mit der Hawksbee'schen fast gleiche Einrichtung, nur bewegt ein Hebel, nach Art eines Wagebalkens, die zwei Kolbenstangen. Auch Nollet's Luftpumpe wurde mehrfach gebraucht. Der einfache Stiefel steht senkrecht in der Mitte eines dreifüßigen Gestelles. Die Stämpelstange wird durch einen Steigbügel und Handgriff, mit dem Fuße und mit der Hand, hinab und herauf bewegt. Auch hat sie einen Hahn, welcher jedesmal gehörig gestellt werden muß. Endlich gibt es Quecksilber-Luftpumpen, z. B. die von Baader und Heidenburg. Sie beruhen auf dem Satze, daß der Luftdruck eine Oeucksilbersäule von 28″ in der Höhe, nicht aber eine längere erhalten kann. Ausführlichere Nachrichten hierüber findet man in Fischer's physicalischem Wörterbuche. Band III. Art. Luftpumpe.

§. 7.

Angabe lehrreicher Versuche durch Hülfe der Luftpumpe.

I. Obwohl man mit der Luftpumpe auf unendlich mannigfaltige Weise experimentiren kann, so ver-

dienen besonders nachfolgende Versuche näher erklärt zu werden.

II. Die einfachste Erscheinung, welche die Luftpumpe gewährt, ist das feste Andrücken des Recipienten auf den Teller, wodurch die Druckkraft der äußern Luft auf eine recht handgreifliche Weise bewiesen wird.

III. Wenn ein oben und unten offener, am Rande gehörig geebneter Glascylinder auf einer Seite mit einer feuchten Blase verschlossen, und derselbe, nachdem sie getrocknet, luftdicht auf den Teller gesetzt wird: so zeigt sich sogleich beim Anfange der Verdünnung eine Vertiefung der Blase, welche immer mehr zunimmt und wobei die Blase mit großer Gewalt ausgedehnt wird. Dünne Lammsblasen werden zersprengt; Schweins- und Rindsblasen aber ertragen meist diesen Druck. Sobald man nun mit einem spitzigen Körper hineinsticht; so dringt die äußere Luft, unter heftigem Knalle, in den Cylinder.

IV. Der Erfinder der Luftpumpe ließ zwei kupferne Halbkugeln von einer Magdeburger Elle im Durchmesser verfertigen. Nachdem sie mit ihren luftdicht anschließenden Rändern zusammengesetzt waren, verdünnte man die Luft in ihrem Innern so viel es geschehen konnte, und spannte sodann an jede Seite 12 — 15 Pferde, welche sie nicht aus einander reißen konnten. Oeffnete man aber den Hahn, so strömte die äußere Luft ein, und sie fielen von selbst aus einander. Man nennt sie die Magdeburger Halbkugeln und ahmt diesen Versuch in den Experimentirübungen im Kleinen nach.

V. Wenn der Recipient eine so hohe Glasglocke ist, daß sie eine Barometerröhre von etwa 30″ aufnehmen kann, so wird sich die Quecksilbersäule darin mit jedem Stempelzuge vermindern; anfangs schnell, allmählich aber langsamer. Beträgt diese Höhe etwa 3‴ — 4‴, so hat die Luft einen sehr hohen Grad von Verdünnung erlitten. Nach geöffnetem Hahne dringt die äußere Luft wiederum ein und das Quecksilber steigt auf die vorige Höhe zurücke. Gewöhn-

lich wird eine solche Barometerröhre, aber meist von geringerer Höhe, so mit der Luftpumpe verbunden, wie dieses Fig. 50. zeigt. Man bringt auch noch bei G einen Hahn an, damit man die Communication der Luft unter der Barometerglocke herstellen oder aufheben kann.

VI. Ein gewöhnliches, mit einem Rande versehenes, und mit einer Blase luftdicht verschlossenes Glas sey so vorgerichtet, daß sich ein Theil dieser Blase in seinem Innern befindet. Bringt man in diese Vertiefung z. B. eine Bleikugel, setzt die ganze Vorrichtung unter den Recipienten, und verdünnt die Luft allmählich: so wird die Blase sich stufenmäßig aus dem Glase erheben, bis die Bleykugel endlich außen herabfällt. Läßt man diese auf einen Teller von Weißblech fallen, so zeigt sich der hierdurch entstehende Schall sehr geschwächt.

VII. Auch gehört der sogenannte Blasenversuch hierher. In einem bauchigen, unten mit einem Fuße, oben mit einer sich verengenden Oeffnung versehenen Glase befindet sich eine kleine, angeschwellte, an ein durchbohrtes Messingstück mit enger Mündung befestigte Blase; so daß dieses in der Oeffnung des Glases luftdicht schließet, aber zwischen dem Glase und der Blase noch ein kleiner Antheil Luft enthalten ist. Bringt man diese Vorrichtung unter den Recipienten, und fängt an, die Luft zu verdünnen: so wird durch die enge Oeffnung des Messingrohrs die Luft aus der Blase allmählich entweichen, und die zwischen dem Glase und der Blase enthaltene Luft wird die anfangs vollkommen angeschwellte Blase sehr fest zusammendrücken. Läßt man die äußere Luft unter den Recipienten strömen, so wird die kleine Blase wiederum vollkommen angefüllt.

VIII. Man stelle ein langes, schmales, mit enger Oeffnung versehenes Glas umgekehrt in ein gewöhnliches etwa auf zwei Drittheile mit Wasser gefülltes Schoppenglas, und setze diese Vorrichtung unter den Recipienten. Sogleich beim ersten Stempelzuge werden viele Luftblasen aus der engen Oeffnung hervor-

treten und im Wasser aufsteigen. Die Menge derselben vermindert sich aber allmählich; so daß nur noch wenige, und diese in längern Zwischenpausen erscheinen. Tritt dann die äußere Luft wieder ein, so wird in das umgekehrte Glas das Wasser so lange aufsteigen, bis die noch rückständige Luft ungefähr von gleicher Dichtheit mit der äußern ist.

IX. Noch gehört hierher der Heronsball. Ein bauchiges Glas mit enger werdendem Halse sey etwa auf zwei Drittheile mit Wasser gefüllt; die Oeffnung werde durch eine Messingschraube luftdicht geschlossen, worin sich eine enge Glasröhre befindet, welche bis beinahe auf den Boden des Glases herabreicht, oben aber eine noch engere Oeffnung hat. Wird diese Vorrichtung unter einen etwas hohen Recipienten gesetzt: so bildet sich sogleich bei den ersten Stempelzügen ein Wasserstrahl, welcher aus der engen Oeffnung emporsteigt.

X. Wenn man schäumendes Bier oder Seifenwasser in einem nicht weiten, aber etwas hohen Glase unter den Recipienten bringt, und die Luft allmählich verdünnt: so wird sich die, in diesen Bläschen enthaltene Luft ausdehnen und der Schaum steigt bis zur Oeffnung des Glases empor; das Eindringen der äußern Luft treibt die ganze Masse wiederum zurück.

XI Bringt man viereckige Stückchen von Tannen-, Buchen- oder Eichenholz auf den Boden eines ähnlich gestalteten, mit Wasser gefüllten Glases und stellt dieses unter den Recipienten, so steigen bei den ersten Bewegungen des Stempels außerordentlich viele Luftbläschen aus dem Holze durch das Wasser empor, zum deutlichen Beweise, daß die Zwischenräume des Holzes eine bedeutende Menge von Luft enthalten.

XII. Wird ein etwas ausgehöhltes Stück Korkholz so lange mit Schrotkörnchen beschwert, bis es in dem Wasser eines schmalen und hohen Glases eben zu Boden sinkt: so wird, wenn man diese Vorrichtung unter den Recipienten gebracht und die Luft verdünnt hat, das Korkholz im Wasser emporsteigen, da sich die in ihm befindliche Luft hierdurch ausdehnt und dessen Volumen erweitert. Beim Oeffnen des

Hahns sinkt dasselbe sogleich wieder zu Boden, durch eine kleine Bewegung des Stempels steigt es wieder empor u. s. w.

XIII. Der Versuch mit dem Cartesianischen Täucherchen, — d. h. mit einem kleinen, von Glasfluß verfertigten Männchen, welches an einem hohlen mit enger Oeffnung versehenen Glaskügelchen vermittelst eines feinen Drathes befestiget, und so vorgerichtet wurde, daß es nur etwas weniges specifisch leichter ist, als das Wasser — gehört auch hierher. Setzt man dasselbe dergestalt in das Wasser eines hohen, engen Glases, daß sich das hohle Glaskügelchen mit seiner Oeffnung innerhalb desselben befindet, und setzt dieses Gefäß unter die Glocke: so werden bei Verdünnung der Luft, einige Luftbläschen aus dem Glaskügelchen hervortreten. Durch Oeffnung des Hahns treibt die äußere Luft einige Wassertröpfchen in dieses Kügelchen, welches nun im Wasser zu Boden sinkt. Durch weitere Verdünnung der Luft wird dieses Wasser wiederum aus dem Kügelchen getrieben, und das Männchen steigt wiederum empor. Auch kann man es in dem Wasser schwebend erhalten.

XIV. Wenn eine Glocke, welche durch ein kleines Uhrwerk einige Zeit von dem Hammer geschlagen wird, auf einem Kissen von Haaren oder Federn stehend, unter den Recipienten gebracht und die Luft allmählich verdünnt wird: so hört man den Klang immer schwächer, wodurch deutlich bewiesen ist, daß die verdünnte Luft die Fähigkeit, einen bedeutenden Schall zu erregen, nicht habe; dasselbige haben die Reisenden erfahren, welche sehr hohe Berge bestiegen haben.

XV. Alle warmblütige Thiere, welche man unter den Recipienten bringt, sterben, bei schneller Verdünnung, sehr schnell, da das Leben dieser Thiere durch das Athmen in atmosphärischer Luft bedingt ist. Auch brennende Lichter erlöschen hier sehr schnell.

XVI. Bringt man etwas erwärmtes Wasser in einem weiten Gefäße unter den Recipienten, verdünnt die Luft bedeutend und läßt nun, durch Oeffnung des Hahns, die äußere Luft eintreten: so bildet

sich ein sichtbarer Nebel unter der Glocke, welcher an ihrer innern Fläche wie der sogenannte Hauch erscheinet. Es wurde hier aus dem Wasser Wasserdampf erzeugt, welcher, im dampfförmigen Zustande unsichtbar, nun sogleich sichtbar wird, wenn durch den Druck der äußern Luft eine Verdichtung desselben bewirkt wird.

XVII. Wenn man dieses erwärmte Wasser einer noch größern Verdünnung aussetzt, so fängt dasselbe an zu kochen, d. h. es bilden sich in seinem Innern Dampfblasen, welche mit Heftigkeit aus demselben hervorbrechen. Dieses Kochen hat hier schon bei geringer Wärme statt, weil die Verminderung des äußern Luftdrucks der Bildung der Wasserdämpfe geringern Widerstand entgegensetzt.

§. 8.

Einrichtung der Compressionspumpe, der Windbüchse und der Elaterometer.

I. Es sey (Fig. 51.) ABDC ein langer, schmaler, im Innern wohl polirter Cylinder von Messing, bei N mit einer durchbohrten Schraube, bei L aber mit einer kleinen Oeffnung versehen, worin sich der Stempel M vermittelst des Handgriffes R luftdicht auf und ab bewegen kann. Befände sich nun dieser Stempel bei AB und würde bis zur Oeffnung L zurückgezogen, so entstände in dem Innern ein luftleerer Raum. Daher strömt die äußere Luft zur Oeffnung N in sein Inneres, und füllt ihn durchaus an. Bewegte man den Stempel wieder gegen AB, so müßte diese eingetretene Luftmasse durch N wieder entweichen, und es widerführe hier der Luft, was bei der einfachen Wasserspritze mit dem Wasser geschieht. Wird aber über die Oeffnung N ein Stückchen Blase dergestalt befestigt, daß es an zwei entgegenstehenden Enden etwas gehoben werden und hierdurch der äußern Luft Zutritt in das Innere gestatten kann: so wird dieses Ventil, wenn man den Stempel von AB

gegen CD bewegt, geschlossen werden; und die Luft muß nun durch die Oeffnung L von außen hineinströmen, um den innern Raum zu erfüllen. Diese Vorrichtung nennt man eine Compressionspumpe oder eine Luftspritze.

II Das Glasgefäß ABCD (Fig. 52.) sei bis MN mit Wasser gefüllt; an seinem Halse befinde sich eine messingene Hülse mit dem Hahne D, und mit einer mitten hindurch reichenden Glasröhre EH, welche beinahe bis zum Boden sich erstreckt. Bei E könne die Springröhre EF mittelst einer Schraube befestigt, oder weggenommen werden. Nimmt man nun diese Springröhren hinweg, stellt den Hahn so, daß die Communication der äußern Luft mit dem Innern hergestellt ist, schraubt bei E eine Compressionspumpe auf und setzt ihren Stempel in Bewegung: so ist klar, daß die äußere Luft aus der Mündung H in *Blasen* durch das Wasser emporsteigen und hierdurch *in* L eine bedeutende Verdichtung bewirken werde. Wird nun der Hahn D geschlossen, die Compressionspumpe ab, die Springröhre EF aufgeschraubt und nun der Hahn D wieder geöffnet: so wird aus F ein hoher Wasserstrahl emporsteigen, weil die in L befindliche sehr verdichtete Luft mit großer Kraft auf die Wasserfläche MN einwirkt. Daß aber die Höhe dieses Wasserstrahls allmählich vermindert werde, ist ebenfalls hieraus ersichtlich.

III. Auf die Wirkung der sehr verdichteten Luft beruht auch die Einrichtung der Windbüchse. Ein hohler, metallener Kolben kann durch die aufgesetzte Compressionspumpe mit sehr verdichteter Luft gefüllt werden. An diesem Kolben wird nun der Lauf befestigt, in welchen man die Kugel bringt. Durch einen besondern Mechanismus wird beim Abdrücken die Klappe geöffnet, welche die verdichtete Luft in dem Kolben zurückhält. Plötzlich bricht ein Theil derselben mit solcher Heftigkeit hervor, daß die Kugel mit großer Kraft aus dem Laufe getrieben wird. Da aber die in dem Kolben enthaltene Luft immer noch sehr verdichtet ist, so kann auf den ersten Schuß sehr

bald der zweite folgen. Um dieses desto schneller zu bewirken, befindet sich zuweilen zur Seite des Laufes eine Höhlung mit etwa 10 vor einander liegendem Kugeln. Durch einen Druck wird die unterste in den Lauf gebracht, worauf sodann der Schuß unmittelbar erfolgen kann. Da die Verdichtung der eingesperrten Luft nach und nach abnimmt, so werden auch die folgenden Kugeln mit geringerer Kraft hinausgetrieben. Bei dem Gebrauche der Windbüchse muß man die Vorsicht anwenden, die Luft in dem Kolben nicht allzusehr zu verdichten, oder denselben in die Nähe eines erwärmten Ofens zu bringen, wodurch eine sehr heftige Explosion entstehen könnte.

IV. Da die Luftpumpe gewöhnlich zur Verdünnung der atmosphärischen Luft dienet, so hat man sich bemühet, den Grad dieser Verdünnung durch ein ziemlich genaues Maaß zu bestimmen. Werkzeuge, welche dieses bewirken, nennt man Elaterometer. Man denke sich das Gefäß Q (Fig. 53.) welches zum Theil mit Quecksilber gefüllt und bei M und R mit zwei Oeffnungen versehen ist. Bringt man in die eine das etwa 12 Zoll lange Barometerrohr AB, welches durchaus mit Quecksilber gefüllt ist, senkrecht stehend an, und stellt diese Vorrichtung unter den Recipienten der Luftpumpe: so wird das Quecksilber bei den ersten Bewegungen des Stämpels noch nicht bei A herabsinken. Nach und nach aber wird die Spannkraft der eingesperrten Luft so vermindert, daß sie nicht mehr im Stande ist, eine Quecksilbersäule von der Höhe AM zu erhalten; und nun wird das Quecksilber allmählich von A nach C, D, E, F u. s. w. herabfallen. Sollte es so tief herabsinken, daß es dem Niveau bei N gleich stände, so müßte sich unter dem Recipienten ein vollkommen luftleerer Raum befinden, welchen man durch keine Luftpumpe hervorbringen kann. Steht aber das Quecksilber nur noch um einige Linien höher, so muß die Luft schon einen sehr hohen Grad von Verdünnung erlitten haben.

Auch das heberförmige Elaterometer ABC (Fig. 54.) welches bei A geschlossen, bei C offen

und durch ABP mit Quecksilber gefüllt ist, gehört hieher. Wird dasselbe unter den Recipienten gebracht, und die Luft gehörig verdünnt, so wird das Quecksilber einmal bei A herabsinken, und bei P emporsteigen. Beide Puncte rücken dem, in der Mitte liegenden Niveau MN immer näher, können aber niemals genau in dasselbige eintreffen, da dieses wieder eine vollkommene Luftleere voraussetzte. Die Luft wird daher um so mehr verdünnt seyn, je genauer diese Annäherung geschieht.

V. Gegen diese und ähnliche Vorrichtungen hat man den Einwurf gemacht, daß sie den wahren Verdünnungsgrad der Luft deßhalb nicht angeben könnten: weil sich, theils aus dem Oele, theils aus dem feuchten Leder Dämpfe bildeten, welche einen störenden Einfluß hierauf äußerten. Der Engländer Smeaton, hat durch die Erfindung der sogenannten Birnprobe diesen Einwurf beseitigt. Es stelle AB (Fig. 55.) den Teller der Luftpumpe vor, auf welchem sich ein großer, bei H mit einer Hülse, wodurch der Drath E luftdicht auf und ab bewegt werden kann, versehener Recipient befindet, unter welchen man das bis MN mit Quecksilber gefüllte Gefäß MQN gebracht hat. An dem Drathe E befindet sich das birnförmig gestaltete Glasgefäß DC, dessen Hals mit einer genauen Scala bei D versehen ist; so daß man bestimmen kann, was für einen Theil jeder Punct dieser Scala in Bezug auf das Volumen des ganzen Gefäßes CD andeutet. Nach dieser Vorrichtung werde die Luft unter dem Recipienten bedeutend verdünnt, wobei die sich bildenden Dämpfe die rückständige Luft verunreinigen. Wird nun durch den Handgriff F das Gefäß DC tief unter das Quecksilber MN hinabgedrückt, so enthält dasselbe ebenfalls einen Antheil dieser verdünnten Luft und des beigemischten Dampfes. Oeffnet man jetzt den Hahn, so strömt die äußere Luft ein, treibt das Quecksilber im Gefäße CD in die Höhe, und zersetzt durch diesen Druck die sich darin befindlichen Dämpfe. Wird nun CD so tief in das Gefäß Q hinabgedrückt, daß das Quecksilber in D

im

im Niveau des äußern liegt: so hat die darin eingesperrte Luft mit der äußern gleiche Dichtheit, und die bei D angebrachte Scala wird das Verhältniß ihres Volumens zum Volumen des ganzen Gefäßes DC, d. h. den bewirkten Verdünnungsgrad der Luft angeben.

§. 9.

Specifisches Gewicht der atmosphärischen Luft, nebst Anwendungen davon. Kurze Geschichte des Luftschiffs.

I. Man wiege eine kolbenförmige, mit Schraube und Hahn versehene, nicht allzukleine Glasflasche sehr genau ab, und verdünne nun in ihr die Luft, so viel es seyn kann. Wird sie nun wieder gewogen, so zeigt der Gewichtsverlust das Gewicht der aus ihr entwichenen Luft an; und es entsteht die Frage, wie viel der Antheil der noch rückständigen Luft betrage. Taucht man die Oeffnung des Gefäßes in das Wasser und öffnet den Hahn, so wird die äußere Luft das Wasser so lange hineintreiben, bis die noch rückständige Luft mit jener gleiche Dichtheit hat, wobei das Glasgefäß so tief in das Wasser zu tauchen ist, bis das innere und äußere Niveau in einander fällt. Wird nun der Hahn geschlossen, der Glaskolben umgedreht, auf seine Mündung eine mit Wasser gefüllte und mit einer genauen Scala versehene Glasröhre geschraubt, und nun der Hahn geöffnet, so fällt dieses Wasser herab; die Luft aber steigt in die Glasröhre empor, worin sie nach ihrem cubischen Inhalte gemessen werden kann. Da man auch den Inhalt des leeren Glaskolbens genau kennt: so zeigt die Differenz den Raum jener Luftmasse an, welche durch die Luftpumpe hinweggebracht worden ist, und man hat das specifische Gewicht der Luft gefunden. Nach Gren wiegt ein rheinländischer Decimalcubiczoll Luft, bei 65° F und 27'' 8''' Par. Bar. Stand, 0,615 Grane. Da nun ein Cubiczoll Wasser, bei gleicher

Temperatur, 492,229 Grane wiegt, so ist die atmosphärische Luft ungefähr 800mal specifisch leichter, als das Wasser. Ein rheinl. Cub. Fuß Luft wiegt daher 615,062 Grane im Medicinalgewichte; oder, da 1 Unze = 2 Lothe = 480 Grane ist, etwas mehr, als $2\frac{1}{2}$ Loth. Daß die Resultate der Naturforscher hier nicht auf das Genaueste übereinstimmen, erkennt man aus der Schwierigkeit, diese Versuche gehörig anzustellen.

II. Hieraus folgt, daß jeder Körper in der atmosphärischen Luft soviel von seinem Gewichte verliert, als das Gewicht der Luft in seinem Raume beträgt, und daß somit unsere Wagen das Gewicht der Körper nicht mit voller Genauigkeit angeben. Wenn z. B. an der Wage ein Bleygewicht von 10 Pfd. mit einem Sack voll Federn im Gleichgewichte steht; so wird der Federnsack, wegen seines weit größeren Volumens, auch weit mehr von seinem absoluten Gewichte verlieren, als das Blei. Da sich aber dennoch beide das Gleichgewicht halten, so muß die Masse der Federn an sich mehr betragen, als die Bleimasse. Wäre z. B. das Volumen der Federn 5 Cub. Fuße, so würde der Federnsack mehr, als 12 Loth am Gewichte verlieren, und man hätte ungefähr 12 Lothe mehr, als man haben sollte. Es sey an einer kleinen Wage ein großes Stück Korkholz mit einem Gegengewichte von Blei im Gleichgewichte, so wird dasselbe in der sehr verdünnten Luft des Recipienten nicht bestehen können; das Korkholz wird sinken, das Bleigewicht steigen.

III. Auch gehört das Gueri**k**ische Manometer hieher. An einer empfindlichen Wage ACB (Fig. 56) sey die große hohle Glaskugel K mit einem kleinen massiven Bleistücke E im Gleichgewichte. Wird nun die Luft dichter, so kann dasselbe nicht mehr bestehen, und die Glaskugel muß, da sie mehr von ihrem Gewichte verliert, als das Blei, in die Höhe steigen. Umgekehrt wird sie, bei eintretender größern Verdünnung der Luft, herabsinken müssen. Daher kann man aus dem gestörten Gleichgewichte zwischen K und E auf den ver-

änderten Dichtheitsgrad der atmosphärischen Luft schließen, und das Werkzeug verdient den Namen eines Luftdichtigkeits-Messers. Fonchy und Gerstner haben sich um die Verbesserung desselben verdient gemacht.

IV. Die seitherigen Lehren dienen auch zur ungefähren Beantwortung der Frage über die Grenze unserer Atmosphäre. Wäre die Luft bloß schwer, und nicht compressibel, so müßte die Höhe der Atmosphäre 800 mal 32 Fuß, d. h. 25600 Fuße betragen. Da aber die atmosphärische Luft auch kompressibel ist, so muß die Höhe der Atmosphäre nothwendiger Weise weit mehr betragen. Daß aber die Atmosphäre wirklich eine Grenze habe, läßt sich aus dem Gesetze der Schwerkraft und der Expansivkraft folgender Gestalt nachweisen. Man denke sich (Fig. 57.) um C mit dem Halbmesser CA eine Kugelfläche, deren innerer Raum mit Luft angefüllt ist: so wird jeder Punkt in ihr, z. B. A mit einem gewissen Grade von Expansivkraft gedrückt werden. Befände sich nun um C eine zweite Kugelfläche mit dem doppelten Radius CB beschrieben, und die vorige Luftmasse wäre nun in diesem 8 mal größern Raume verbreitet: so würde die Expansivkraft auf dem Punkt D nunmehr 8 mal kleiner seyn, als sie zuvor auf A gewesen ist. Aber das Lufttheilchen in B wird mit geringerer Schwere als jenes in A gegen das Centrum C gezogen, und diese Schwerkraft nimmt ab, wie die Quadrate der Entfernungen CA, CB u. s. f. zunehmen. Hieraus folgt: daß die Expansivkraft, als nach dem Verhältnisse der Kugelräume, d. h. nach dem Verhältnisse der Würfel der Halbmesser abnehmend, sich in größerm Maaße als die Schwerkraft vermindere. Daher muß es eine Entfernung geben, worin die Schwerkraft und die Expansivkraft sich im Gleichgewichte halten, und diese Entfernung bestimmt die Grenze der Atmosphäre. Nach Mariotte kann die Luft höchstens um das 4096fache verdünnt werden, woraus er die Höhe der Atmosphäre auf 15 franz. Meilen, jede zu 200 Toisen berechnet. Nach de Luc soll sich

diese Grenze da befinden, wo die Luft einer Quecksilbersäule von 1''' das Gleichgewicht hält, welches diese Höhe zu 12½ franz. Meilen gibt. Da aber gute Luftpumpen eine noch größere Verdünnung bewirken, so nimmt de Luc für diese Höhe 17½ franz. Meilen an. Nach Hube könnte die Luft höchstens 1400 mal dünner, als an der Erdfläche werden, welche Voraussetzung die Höhe der Atmosphäre nicht gar zu 8 geogr. Meilen bestimmte. Hieraus sieht man, daß die Resultate dieser Forschungen das Ziel noch nicht erreicht haben.

V. Die Möglichkeit des sogenannten Luftschiffes beruht im Allgemeinen auf dem hydrostatischen Satze: daß der specifisch leichtere feste Körper in dem specifisch schwerern flüssigen emporsteigen muß. Wenn es daher eine Vorrichtung gibt, bei welcher feste Körper bei sehr großem Volum weniger Gewicht haben, als das Gewicht der atmosphärischen Luft in demselbigen Raume beträgt: so müssen auch diese festen Körper in der Luft aufsteigen. Was die Geschichte der Physik hierüber lehret, soll hier (nach Fischer's physikalischem Wörterbuche, Bd. I. Art. Aerostat.) kürzlich mitgetheilt werden.

VI. Der Jesuit, Franz Lana, oder de Lanis kam um das Jahr 1670 auf den Gedanken: daß vier große kupferne hohle Kugeln, von dünnem Bleche verfertigt und luftleer gemacht, nicht nur selbst in der atmosphärischen Luft aufsteigen, sondern auch noch andere Körper, etwa ein daran befestigtes Schiffchen, in die Höhe heben würden; da ihr Gewicht weit weniger betrüge, als jenes der Luft in ihrem Raume. Obwohl dieses für die Theorie richtig ist, so läßt sich der Vorschlag nicht ausführen, da die äußere Luft diese dünnen Blechkugeln zusammendrücken würde. Dahin gehört auch der Vorschlag des französischen Dominicaners Gallien, welcher im Jahr 1755 in einer besondern Schrift die Verfertigung eines sehr großen Kastens angab, welcher sich nebst vielen Menschen und mancherlei Geräthschaften in die Luft erheben müßte.

VII. Nachdem um das Jahr 1766 der Engländer Cavendish die große Leichtigkeit des brennbaren Gases (Wasserstoffgas) entdeckt hatte, gerieth bald nachher Dr. Black in Edinburg auf den Gedanken: daß eine dünne, mit diesem Gas gefüllte Blase in der Luft emporsteigen müßte; ohne jedoch diesen Versuch anzustellen. Cavallo hingegen füllte im Jahre 1781 Seifenblasen mit diesem brennbaren Gase an, welche sich wirklich in der Luft erhoben. Mit Blasen von Thieren, oder mit Papier, gelang ihm dieses nicht. Auch kam er auf den Einfall, daß das bekannte Goldschlägerhäutchen, wegen seines geringen specifischen Gewichtes, vorzüglich brauchbar dazu seyn müßte.

VIII. Die eigentlichen Erfinder der Aerostaten waren die Brüder Stephan und Joseph Montgolfier im Jahre 1782. Der ältere verfertigte aus Taffet ein Parallelepipedum von 40 Cub. Fuß Inhalt, welches, nachdem die eingesperrte Luft mit brennendem Papier erhitzt war, eine Höhe von ungefähr 70 Fuß erreichte. Dieß veranlaßte sie am 5ten Juny 1783 zu Annonay einen Luftball steigen zu lassen. Er war von Leinwand, mit Papier gefüttert, und sein Umfang betrug etwa 100 Par. Fuße. Am Boden war eine Oeffnung unter welcher ein verhältnißmäßiges Strohfeuer angebracht wurde. Die Hülle schwoll allmählich auf, der Ballon stieg etwa auf 1000 Toisen, blieb 10 Minuten in der Luft und fiel 7200 Fuß vom Orte des Aufsteigens nieder. Sein Inhalt betrug ungefähr 22000 Cubic-Fuße. Setzt man die Luft 800mal specifisch leichter, als Wasser, so verdrängte die Kugel ein Gewicht von ungefähr 1560 Pfunden. Die innere, durch die Hitze verdünnte Luft rechneten sie im halben Gewichte, d. h. zu 780 Pfund, und die ganze Maschine wog 500 Pfund, somit alles zusammen 1280 Pfunde. Da nun die hebende Kraft 1560 Pfunde betrug, so mußte der Ball mit dem Ueberschusse von etwa 280 Pfunden schnell in die Höhe steigen.

IX. Als die Pariser Naturforscher von diesen Versuchen hörten, aber nicht wußten wodurch der Luftball gefüllt worden war, so bedienten

sie sich hierzu der brennbaren Luft. Charles, Professor der Physik, und die beiden Mechaniker Robert führten den Versuch am 27ten. August 1783 glücklich aus. Ihr Ball war von Taffent, mit Firniß überzogen, sein Durchmesser betrug 12 Fuß 2 Zoll, sein Inhalt etwa 943 Cub. Fuße. Er wog ohne Luft 25 Pfunde, und stieg auf 488 Toisen. Erst nach drei Viertel Stunden fiel er 5 Stunden von Paris sanft nieder.

X. Der jüngere Montgolfier stellte am 19. September 1783 zu Versailles, in Gegenwart des Königs, einen merkwürdigen Versuch an. Ein sphäroidischer, von Leinwand verfertigter Luftball 57 Fuß hoch, 41 Fuß breit, wurde durch Verbrennung von 80 Pfund Stroh 240 Toisen hoch erhoben. Man gab ihnen einen Hammel, eine Ente, und einen Hahn in einem Käfige mit. Nach 8 Minuten fiel derselbe ganz sanft 1700 Toisen weit vom Orte des Aufsteigens nieder.

XI. Im October eben dieses Jahres verfertigte Montgolfier einen Luftball 70 Fuß hoch, und 46 Fuß breit, welcher eine an Stricken hängende Gallerie von leichtem Holze trug. Unter die 15 Fuß im Durchmesser haltende Oeffnung wurde ein Eisenblech angebracht, um das Strohfeuer darauf unterhalten zu können. Dieses Luftschiff bestieg der kühne Pilatre de Rozier. Der Ball erhob sich auf 80 Fuß und wurde durch Stricke zurückgehalten. Einige Tage später wiederholte er die nämliche Auffahrt, und versuchte, durch stärkeres oder schwächeres Feuer sich mehr zu erheben, oder herabzusenken. Später begleitete ihn Giroud de Vilette auf einer Luftreise, wobei sie eine Höhe von 324 Fuß erreichten.

XII. Nunmehr wagte auch der Marquis d'Arlandes mit Rozier eine Luftfahrt, ohne daß die Maschine mit dem Seile gehalten wurde. Der Wind führte sie über einen Theil der Stadt und über die Seine. Sie stiegen nach 25 Minuten in einer Weite von 5000 Toisen unbeschädigt zur Erde. Im December 1783 unternahmen Charles und Robert aber-

mals eine Luftreise. Anstatt der Gallerie hängten sie unter dem Ballon ein Schiffchen an. Sie füllten ihn mit brennbarer Luft, und brachten eine Klappe an, um dieselbe beim Niederlassen zu öffnen. Den größten Versuch dieser Art machte aber der ältere Montgolfier im Januar 1784. Er, Rozier und noch fünf Andere bestiegen die Gallerie eines Balls, welcher 126 Fuß hoch, 104 Fuß breit und mit verdünnter Luft gefüllt war. Diese Luftreise währte aber nur 12 Minuten, weil der Ball einen Riß bekam und schnell zur Erde herabsank.

XIII. Nach dieser Zeit sind die Luftbälle nicht mehr mit erhitzter, sondern mit brennbarer Luft gefüllt worden. Nun hatte Rozier den Einfall, eine Luftfahrt über die Meerenge zu machen, welche Frankreich von England trennt; allein Blanchard kam ihm hierin zuvor, und endigte seine Reise glücklich. Pilatre de Rozier blieb ebenfalls auf seinem Vorsatze, und stieg nebst seinem Freunde Romain mit einem doppelten Luftball, wovon der untere nach Montgolfier, der obere nach Charles eingerichtet war, in die Luft. Unglücklicher Weise gerieth die ganze Maschine in Brand; Beide stürzten bei Boulogne von einer großen Höhe herab, und sind somit die ersten Opfer der Luftschiffahrt geworden.

XIV. Dieser unglückliche Fall schreckte nicht ab. Blanchard ging vielmehr nach England und wagte mit dem Dr. Jefferies aus America eine Reise über den Kanal, welche auch am 7. Januar 1785 binnen 2 Stunden 32 Minuten glücklich ausgeführt wurde. Nach diesem begab sich Blanchard nach Deutschland, und hat an sehr vielen Orten mit großem Glücke dergleichen Luftreisen angestellt. Er ist der Erfinder des Fallschirms, welcher fast wie ein Regenschirm gebildet ist, und im Nothfalle dazu dient, um sich ohne große Gefahr von einer Höhe auf die Erde herabzulassen. Auch stellte man mehrfache Versuche an, um den Luftball nach Belieben zu lenken, welche jedoch nur unvollständig gelungen sind.

XV. So interessant auch die Erfindung des Luftschiffs, als scharfsinnige und kühne Unternehmung ist, so unbedeutend sind bisher die eigentlich wissenschaftlichen Resultate davon gewesen; und das anfänglich wahrhaft große Unternehmen sank nach und nach zur gemeinen Ergötzung des Pöbels oder zum Erwerb von Abentheurern herab. Ausführliche Belehrung über die Luftschiffahrt findet man: in der Geschichte der Aerostatik, historisch, physisch und mathematisch ausgeführt von Kramp. Straßburg 1784. 4to Thl. I. 1785. Thl. II. Sodann: im Anhange zur Geschichte der Aerostatik von Kramp. Straßb. 1786 und: in der Beilage zu Kramp's Geschichte der Aerostatik. Gotha 1785.

§. 10.

Uebergang zur Lehre vom Schalle. Vom Schalle überhaupt. Bedingungen der Tonhöhe und Tontiefe.

I. Die atmosphärische Luft ist das gewöhnlichste Fortpflanzungsmittel des Schalles, und in dieser Hinsicht vorzüglich wichtig, da die Möglichkeit der Wortsprache hierauf beruht, welcher wir einen so großen Theil unserer geistigen Bildung verdanken. Mit dem Worte Schall bezeichnet man jede Empfindung, welche wir dem Gehörsinn verdanken. Man unterscheidet von ihm den Klang, woran man schon ein gewisses Verhältniß von Höhe und Tiefe wahrnimmt. Der Ton aber ist die vollkommenste Empfindung des Gehörs, da wir an ihm mit größter Klarheit das Verhältniß der Höhe und Tiefe erkennen. Ein sehr heftiger, schnell vorübergehender Schall wird Knall genannt. Die Mannigfaltigkeit der verschiedenen Arten des Schalles, welchen wir der Natur oder der Kunst verdanken, ist unendlich, und die Sprache reicht nicht zu, diese kleinen Verschiedenheiten zu bezeichnen. Da jeder Schall, als Wirkung, eine veranlassende Ursache; als Empfindung, ein reizfähiges Organ, und

ein Vehiculum voraussetzt, wodurch er demselben zugeführt wird: so zerfällt diese Lehre am natürlichsten in drei Abtheilungen, nämlich: von den Schall-erregenden Körpern, von der Fortpflanzungsweise der Luftschwingungen, und von dem Organe des Gehörs.

II. Nicht alle Stoffe haben die Fähigkeit, den Schall mit gleicher Leichtigkeit und Stärke zu erregen. Weiche Körper sind unfähig dazu; aber solche, welche einen höhern Grad von Contractilität der Theilchen besitzen, z. B. die metallene Glocke, die gespannte Saite u. dgl. eignen sich vorzüglich dazu. Man erkennt sogleich, daß diese Körper in eine merkbare Vibration ihrer Theilchen gerathen, wenn sie schallen, klingen oder tönen. Diese Schwingungen fallen bei langen Saiten dem Beobachter in die Augen. Da solche gespannte Saiten, ihrer Einfachheit wegen, vorzüglich geschickt sind, diese Schwingungen zu erläutern: so werden sie am füglichsten zum Beispiele erwählt. Streicht man eine gehörig gespannte Saite mit dem Violinbogen an, so wird sie aus ihrer geraden Lage in eine krumme gebracht, und ihre Theilchen hierdurch mehr von einander entfernt. Durch das Streben derselben, sich wieder in den vorigen Raum herzustellen, schnellt die Saite zurück; erhält hierdurch eine Kraft, nach der andern Seite auszuschwingen; und setzt diese Vibrationen so lange fort, bis sie der Widerstand der Luft zur Ruhe gebracht hat.

III. Zwei Saiten von einerlei Materie, einerlei Dicke und einerlei Spannung, aber von verschiedener Länge, geben, gehörig erschüttert, einen verschiedenen Ton; welchen wir bei der längern Saite den tiefern, bei der kürzern den höhern nennen. Da die kürzere Saite in schnellere Schwingungen geräth, als die längere, so erklärt sich die physische Verschiedenheit beider Töne daraus: daß hier der höhere durch eine größere, der tiefere aber durch eine kleinere Anzahl von Schwingungen gebildet wird. Nennt man die Zahl dieser Schwingungen in derselbigen Zeit Z und z, die Längen der Seiten L und l: so läßt

sich beweisen, daß Z : z = l : L, d. h. daß die Zahl der in gleicher Zeit vollbrachten Schwingungen im umgekehrten Verhältnisse der Längen dieser Saiten sey. Wäre z. B. die eine gerade halb so lang, als die andere, so würde sie in der nämlichen Zeit noch einmal so viele Schwingungen machen als jene.

IV. Werden zwei Saiten von einerlei Materie, von gleicher Länge und Dicke mit verschiedenen Kräften gespannt: so erzeugt die mehr gespannte den höhern, die weniger gespannte aber den tiefern Ton. Da die größere Spannkraft die Contractilität der Theilchen vermehrt, so geht der physische Grund der größern Höhe auch hier wieder aus der größern Zahl von Schwingungen hervor, welche in derselbigen Zeit vollbracht werden. Benennt man die Spannkräfte mit K und k: so kann bewiesen werden, daß sich Z : z = √K : √k verhalten, d. h. daß hier die Zahl der Schwingungen in einerlei Zeit im geraden Verhältnisse der Quadratwurzeln dieser Spannkräfte stehen. Eine, mit einer andern durchaus gleiche, aber durch die vierfache Kraft gespannte Saite, würde daher in derselbigen Zeit noch einmal so viel Schwingungen machen, als jene.

V. Wenn zwei Saiten gleiche Materie, einerlei Länge und Spannkraft, aber verschiedene Dicke haben, so gibt die dünnere Saite den höhern, die dickere den tiefern Ton. Da die dünnere offenbar in schnellere, die dickere aber in weniger schnelle Schwingungen geräth, so liegt der physische Grund der verschiedenen Tonhöhe auch hier wieder in der Zahl der Schwingungen für eine gegebene Zeit. Nennt man die Dicke der Saiten D und d: so verhält sich Z : z = d : D, d. h. die Zahl der in gleicher Zeit vollbrachten Schwingungen steht im umgekehrten Verhältnisse mit der Dicke der Saiten, und es müßte z. B. die halb so dicke noch einmal so schnell, als die andere schwingen.

VI. Ueberhaupt folgt hieraus, daß das Verhältniß der Tonhöhe und Tontiefe gespannter Saiten von der Menge der Schwingungen abhange, welche in einerlei Zeit Statt

findet. Da dieselbe von der Länge, Dicke und Spannkraft abhängig ist, so hat man im Allgemeinen:

$$Z : z = l \times VK \times d : L \times Vk \times D.$$

Setzt man $l = L$, so wird

$$Z : z = VK \times d : Vk \times D.$$

Wäre $K = k$, so würde

$$Z : z = l \times d : L \times D.$$

Nähme man $d = D$, so entsteht:

$$Z : z = l \times VK : L \times Vk.$$

Da unter der Bedingniß $Z = z$ die Tonhöhe dieselbige ist, so hat dieses auch statt, wenn $l \times VK \times d = L \times Vk \times D$ ist.

Da aber aus dieser Gleichung nachstehende drei Proportionen folgen:

1. $l : L = Vk \,.\, D : VK \,.\, d$
2. $V : Vk = L \,.\, D : l \,.\, d$
3. $d : D = L \,.\, Vk : l \,.\, VK$,

so enthält auch jede von diesen eine Bedingniß, worunter die Tonhöhen einerlei sind.

VII. Wenn zwei Saiten in der nämlichen Zeit gleich viele Schwingungen machen, obwohl an Länge, Dicke oder Spannkraft verschieden, so bilden sie den Einklang. Um aber mit derselbigen Saite verschiedene Töne zu erzeugen, dienet das Monochord. Ueber einen Resonanzboden ist eine Saite von gehöriger Länge dergestalt befestigt: daß sie durch verschiedene Gewichte, oder auf andere Weise, mehr oder weniger gespannt, auch durch einen beweglichen Steg in beliebige Theile abgetheilt, und jedesmal mit einem Violinbogen gestrichen werden kann. Nimmt man hierbei nur auf die Länge Rücksicht, so entstehen folgende musikalische Grundverhältnisse. Der Ton, welchen die ganze Saite erzeugt, heißt der Grundton.

$\frac{1}{2}$ der Länge gibt die nächst höhere Octave.
$\frac{2}{3}$ = = = = Quinte.
$\frac{3}{4}$ = = = = Quarte.
$\frac{4}{5}$ = = = = große Terzie.
$\frac{5}{6}$ = = = = kleine Terzie.
$\frac{3}{5}$ = = = = große Sexte.
$\frac{5}{8}$ = = = = kleine Sexte.

$\frac{1}{4}$ = = = = die nächst höhere Octave der Quinte.
$\frac{1}{5}$ = = = = die zweit höhere Octave der großen Terzie u. s. w.

Da sich hier die Schwingungszahl umgekehrt, wie die Saitenlänge verhält, so ist es leicht, das Verhältniß derselben anzugeben. Wenn die Saite des Grundtons eine Schwingung macht, so macht jene seiner nächst höhern Octave in derselbigen Zeit zwei Schwingungen. Da die Quinte aus $\frac{2}{3}$ der Saitenlänge des Grundtons entspringt, so verhalten sich hier die Mengen der Schwingungen wie $\frac{2}{3}$: 1, d. h. wie 2 : 3, oder wenn die Saite des Grundtons zwei Schwingungen macht, so schwingt jene der Quinte in derselbigen Zeit dreimal.

§. 11.

Die Schwingungsknoten und die Klangfiguren.

I. Vormals hatte man allgemein die Meinung, daß die Vibrationen der Schall-erregenden Körper in einem gleichmäßigen Erzittern ihrer kleinsten Theilchen bestånden. Chladni widerlegte dagegen durch die Darstellung der Schwingungsknoten und der Klangfiguren diese ältere Ansicht, wodurch neues Licht über diese Lehre verbreitet wurde. Der Steg des Monochords befinde sich in der Mitte der Saite, man lege kleine Papierstückchen auf die eine Hälfte, auch eines über den Steg, und streiche die andere Hälfte mit dem Violinbogen an. Es fallen sogleich alle Papierchen herab, nur jenes nicht, welches sich über dem Stege befindet. Die bewegte Hälfte der Saite theilt ihre pendelartigen Schwingungen der unbestrichenen Hälfte dergestalt mit, daß beide um den festen Punkt des Steges wechselseitige Schwingungen machen. Daher nennt man diesen Punkt den Schwingungspunkt.

II. Man stelle den Steg an das Ende von $\frac{1}{3}$ der Saite, lege sowohl auf das Ende des zweiten

Drittheils als auch auf andere Stellen die kleinen Papierchen, und streiche nun den kürzern Theil mit dem Bogen. Es fallen hier alle Papierchen herab, mit Ausnahme der beiden, welche sich auf den zwei Abtheilungspunkten befinden. Hieraus folgt, daß diese Abtheilungspunkte die beiden Schwingungspunkte sind; um welche die Saite in ihren drei gleichen Stükken so hin und her schwingt, daß diese Punkte wie feste Stellen anzusehen sind. Wird die Saite so abgetheilt, daß sich der Steg am Ende von $\frac{1}{4}$ ihrer Länge befindet, und verfährt man mit dem Auflegen der Papierchen und mit dem Anstreichen auf ähnliche Weise: so zeigen sich drei Schwingungspunkte an den drei Abtheilungspunkten der Saite, um welche jedes Stück seine Schwingungen bildet. Fortgesetzte Versuche lehren, daß bei $\frac{1}{5}$ der Saite 4; bei $\frac{1}{6}$ derselben 5; bei $\frac{1}{7}$ ihrer Länge 6 Schwingungspunkte Statt finden u. s. w.

III. Das allgemeine Gesetz, welches Chladni hieraus abstrahirt hat, ist dieses: Wenn man den, mit dem Violinbogen gestrichenen Theil der Saite als Zähler, ihre ganze Länge aber als Nenner eines Bruchs betrachtet, diesen Bruch zur kleinsten Benennung bringt, und nun seinen Zähler vom Nenner abzieht, so gibt der Unterschied die Zahl der Schwingungspunkte an; läßt man z. B. $\frac{2}{5}$ der Saite tönen, so gibt es 5 — 2 d. h. 3 Schwingungspunkte; bei $\frac{5}{7}$ gibt es 7 — 5 oder 2 Schwingungspunkte u. s. w. Wenn eine gespannte Saite unter sehr spitzem Winkel mit dem Violinbogen gestrichen wird, so entstehen die sogenannten Longitudinal-Schwingungen. Die Töne sind unangenehm und viel höher, als bei den gewöhnlichen Transversalschwingungen. Chladni hat sie zuerst entdeckt.

IV. Diese Schwingungspunkte oder Schwingungsknoten zeigen sich nicht blos bei tönenden Saiten, sondern bei allen klingenden und tönenden Körpern überhaupt, wie die sogenannten Klangfiguren anschaulich beweisen. Man bestreue die quadratische, etwa vier Zolle an der Saite betragende dünne

und reine Glasscheibe ABCD (Fig. 58.) mit reinem Sande; fasse sie dergestalt zwischen den Daumen und Mittelfinger der linken Hand, daß die Fingerspitzen in der Mitte der Scheibe einander gegenüber stehen; halte sie wagerecht, und streiche nun, vermittelst eines mit Colophonium bestrichenen Violinbogens bei B mit mäßigem Drucke herab. Die Scheibe wird klingen, der Sand in springende Bewegungen gerathen, und, wenn der Strich einige Mal wiederholt ist, die Figur der Tafel bilden. Offenbar sind hier jene Stellen der Glasscheibe, wovon sich der Sand springend hinwegbewegt, die schwingenden; jene aber, an welchen er sich anhäuft, die beinahe ruhenden, d. h. die Schwingungspunkte. Es ist merkwürdig, daß die Vibration in B eine gleichmäßige, an den homologen Stellen A, D und C bewirkt.

V. Wird der Versuch, wie vorhin angestellt und die Scheibe nun bei Q (Fig. 59.) gestrichen, so bildet der Sand die Figur der Zeichnung; wobei ersichtlich ist, daß nunmehr andere Stellen in Schwingungen begriffen, andere aber in Ruhe seyen. Wird die runde Glasscheibe ABCD (Fig. 60.) in A dadurch gedämpfet, daß man sie hier mit einem festen Körper in Berührung bringt, und sodann bei N in einer Entfernung von 45° von A mit dem Violinbogen anstreicht: so bildet der in Bewegung gesetzte Sand die Figur der Zeichnung, wobei die schwingenden Stellen und in diesen wieder die ruhenden Punkte E, F, H, K leicht zu erkennen sind. Wird die runde Glasscheibe ABCDEF (Fig. 61.) bey A gedämpft, und bey H, in einer Entfernung von 30° mit dem Bogen gestrichen: so bildet der Sand die sternförmige Figur der Zeichnung, woran die ruhenden und schwingenden Stellen wiederum sogleich ins Auge fallen. Alle diese Klangfiguren lassen sich sehr mannigfaltig abändern, nachdem man die Glasscheiben anderswo dämpft und anderswo anstreicht, oder aus einer schon gebildeten Figur, durch anderes Dämpfen und Streichen, wieder eine neue bildet.

VI. Vielfache Versuche beweisen, daß diese Lehre von dem pendelartigen Vibriren homologer Stellen

der schallerregenden Körper nicht blos von tönenden Saiten und von klingenden Glasscheiben gelte, sondern überhaupt auf alle schallerregende Körper anwendbar sey. Man fülle z. B. ein gewöhnliches Schoppenglas von reinem, dünnem Glase auf $\frac{2}{3}$ mit Wasser, bringe den Rand irgendwo mit einem spitzigen festen Körper in Berührung; und streiche, 45° hiervon entfernt, mit dem Violinbogen über den Rand: so wird das Wasser an vier entgegengesetzten Stellen in zitternde Bewegung gerathen und in höchst feinen Tröpfchen emporspringen, wodurch die symmetrisch liegenden, ruhenden und bewegten Stellen des Glases augenscheinlich zu erkennen sind. Auch bei Glocken, deren Rand vermittelst eines Hammers angeschlagen wird, zeigen sich ähnliche vibrirende Stellen. Ueberhaupt geht aus allem diesem das Resultat hervor, daß die Schwingungen der schallerregenden Körper nicht in einem gleichmäßigen Erzittern aller ihrer Theile, sondern in einem pendelartigen Hin- und Herbewegen größerer Stellen um dazwischen liegende, in Ruhe begriffene größere oder kleinere Theile derselben, begründet seyen.

§. 12.

Die Fortpflanzung der Schallvibrationen durch die Luft und durch feste Körper.

I. Die Vibrationen, in welche die schallerregenden Körper gerathen, sind allein noch nicht hinreichend zur Empfindung des Schalles, sondern müssen erst in der atmosphärischen Luft fortgepflanzt und zum Ohre geführt werden. Die Luft gleichet hierbei der gespannten Saite, weil sie, gleich dieser, einen gewissen Grad von Spannkraft in ihren Theilchen besitzt. Aber die Luftbewegungen, welche der schallerregende Körper rings um sich her veranlaßt, pflanzen sich nicht in einer dem Winde gleichen progessiven Bewegung, sondern durch ein pendelartiges Hin- und Herschwingen der Lufttheilchen fort. Denn ein, auch

starker Schall beweget die so leicht bewegliche Licht-flamme nicht. Die um den Schall-erregenden Körper herliegenden Lufttheilchen werden schnell comprimirt, dehnen sich nach dem Gesetze ihrer Spannkraft wiederum aus, und wirken so auf die ihnen zunächst liegenden Lufttheilchen ähnlich ein. Daher werden auch diese comprimirt, und wirken, indem sie sich wiederum herstellen, auf ihre benachbarten eben so u. s. w.; wodurch die Fortpflanzung dieser Schall-Schwingungen als eine wellenförmige anzusehen ist, welche auf der gegenseitigen Compression und Expansion benachbarter Luftschichten beruht, und wobei die Luftmasse im Ganzen unbewegt bleibt. Die durch einen, auf die ruhige Wasserfläche geworfenen Stein entstehenden, allmählich sich erweiternden concentrischen Kreise geben ein ungefähres (doch nicht vollkommen entsprechendes) Bild von dieser allmählichen Fortpflantzung der Luftwellen.

II. Da diese pendelartigen Schwingungen nur allmählich in der Luft fortschreiten können, so gehört zu ihrer Fortpflanzung eine gewisse Zeit, welche durch genaue Versuche bestimmt werden mußte. Die franz. Academiker Cassini, Maraldi, de la Caille haben im Jahre 1738, auf einer Standlinie von 14636 Toisen, dergleichen Versuche angestellt; und fanden, daß die Schallwellen in einer Secunde durch einen Raum von 1038 bis 1040 Fuß fortschreiten. Neuere Versuche stimmen ziemlich genau damit überein. Nach Biot ist diese Entfernung, bei der Temperatur der Eiskälte 1026 Par. Fuß; nach Benzenberg, bei 28″ Bar. Stand und 0°R., ungefähr 1028 dieser Füße. Da die Fortpflanzung des Lichtes auch bei den größten Entfernungen auf der Erde, augenblicklich geschieht: so hat man hierauf eine Methode gegründet, um aus der Wahrnehmung des Lichtes und des Schalles die Entfernung des schallerregenden Körpers ungefähr zu bemessen. Wird z. B. die Zeit nach Secunden bestimmt, welche von dem Augenblicke verfließet, in welchem man das Feuer einer in der Entfernung abgebrannten Kanone sieht,

bis

bis dahin, wo man ihren Knall hört: so läßt sich die ungefähre Entfernung der Kanone von dem Beobachter finden, wenn für jede Secunde 1038 Fuß gerechnet wird. Auf ähnliche Art kann man die Weite ungefähr bestimmen, in welcher sich der Blitz von dem Beobachtungsorte der Erde gebildet hat. Zu gleichem Zwecke werden in stürmischen Nächten am Gestade des Meeres Kanonen losgebrannt, um den Seefahrern ein beiläufiges Maaß ihrer Entfernung von der Küste zu geben. Eben darauf beruht endlich die bekannte Erscheinung: daß man, wenn in der Entfernung ein Baum gefällt wird, die Axt eher auftreffen sieht, bevor man den Schall vernimmt. Die Zunahme dieser Entfernung bewirkt eine größere Zwischenzeit.

III. Aber mit welcher Art von Bewegung pflanzen sich die Schallschwingungen fort? Vielfache Versuche haben gelehrt: daß diese Bewegung eine gleichförmige sey, d. h. daß in der doppelten Zeit der doppelte Raum, in der dreifachen Zeit der dreifache Raum, u. s. f. beschrieben werde. Auch ist merkwürdig: daß die Stärke des Schalles keinen Einfluß auf die Veränderung dieser Geschwindigkeit habe. Der heftige Kanonenknall befolgt hier mit den sanften Tönen musikalischer Instrumente dasselbige Gesetz. Die pendelartigen Schwingungen der Lufttheilchen müssen also, wenn gleich die Kraft, welche sie veranlaßt, verschieden ist, jedesmal gleichzeitig erfolgen. Je weiter aber diese Schwingungen fortgeleitet werden, desto mehr nimmt ihre Stärke ab, bis sie endlich einmal gar nicht mehr vernehmbar für das Ohr sind. Der Grund liegt darin: weil die ursprüngliche Bewegkraft, welche vom Schall-erregenden Körper ausgeht, immer eine größere und größere Menge von Lufttheilchen in Bewegung versetzt. Das Gesetz ist folgendes: die Stärke des Schalles nimmt ab, wie das Quadrat der Entfernung des Ohres vom erregenden Körper zunimmt. Da sich nämlich die pendelartig bewegten Luftschichten wie die Kugeloberflächen ansehen lassen, deren Mittelpunct

der schallerregende Körper ist, und diese Kugelflächen nach dem Quadrate ihrer Halbmesser zunehmen, so wird man den Grund hievon leicht erkennen.

IV. Der Wind kann ebenfalls bedeutenden Einfluß auf die Fortpflanzung der Schallbewegungen äußern. Wehet er vom schallerregenden Körper gegen den Beobachter oder von diesem gegen jenen hin: so wird seine Geschwindigkeit im ersten Falle vermehrt, im zweiten aber vermindert. Steht aber die Richtung des Windes senkrecht auf der Verbindungslinie des schallerregenden Körpers und des Beobachters, so äußert derselbe keinen Einfluß auf die Geschwindigkeit der Schallwellen; selbst dann nicht, wenn der Wind von bedeutender Stärke wäre. Eine andere Wirkung auf die Stärke und Geschwindigkeit der Schallwellen hat die veränderte Dichtheit der Luft. Je mehr man die Luft (z. B. durch Hülfe der Luftpumpe) verdünnt, desto mehr vermindert sich ihre Spannkraft; sie gleichet einer schlaff gespannten Saite, und die Stärke der Schwingungsbewegungen nimmt ab. Dies lehrten auch die Versuche, welche man auf hohen Bergen angestellt hat. Umgekehrt wird die mehr verdichtete Luft einen höhern Grad von Contractilität erhalten, woher die Stärke und Geschwindigkeit der Schallbewegungen zunimmt.

V. Obwohl die atmosphärische Luft das gewöhnlichste Fortpflanzungsmittel der Schallvibrationen ist, so ist sie doch nicht das einzige. Auch feste Körper, besonders solche, welche einen höhern Grad von Contractilität besitzen, haben das Vermögen, diese Bewegungen fortzuleiten. Wenn man z. B. ein Stahlstäbchen, einige Linien dick und 3 — 4 Fuß in der Länge, mit dem einen Ende zwischen die Zähne faßt, mit dem andern aber auf den Resonanzboden einer Violine oder eines Claviers legt: so werden die Töne mit größerer Stärke vernommen. Legt man ein ähnliches Stäbchen von trocknem Holze mit einem Ende auf eine gehende Sackuhr, das andere an dem knorpeligen Theil des Ohres oder an dem Backenknochen an, so verstärkt dieses den Schall der Uhr.

Dasselbe bemerkt man, wenn die Uhr auf einen höheren Tisch oder auf einen hohlen hölzernen Kasten gelegt wird. Bringt man sie auf weiche Körper, so wird der Schall kaum vernommen. Hierauf beruht die Verstärkung der Töne musikalischer Instrumente durch den Resonanzboden. Die Schwingungen der Violinsaiten z. B. theilen sich dem dünnen, contractilen Holz mit, welches, in ähnliche Schwingungen versetzt, wiederum auf die Luft einwirkt und hierdurch die gesammten Luftschwingungen erhöhet.

VI. Ueber diese Leitungsfähigkeit der Schallvibrationen fester Körper hat Perolle Versuche angestellt. Die Hölzer folgen nach dieser Ordnung: Weistannen, Brasilienholz, Buxbaum, Eichen, Kirschbaum, Kastanien; die Metalle: Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Zinn, Blei; andere Körper: Schnüre von Darm, Haare, Seide, Hanf, Flachs, Wolle, Baumwolle. Auch stellte er Versuche mit Flüssigkeiten an. Das Schlagen einer Taschenuhr hörte er in der Luft auf 8 Fuß; wurde sie an einem Faden ins Wasser getaucht, auf 20 Fuß; in Olivenöl auf 16 Fuß; in Terpentinöl auf 14 Fuß, in Weingeist auf 21 Fuß. Vorzüglich lehrreich waren Biots Versuche im Jahre 1808 an einer 2928 Par. Fuß langen Verbindung von eisernen Rohrstücken, woran die Vorrichtung so getroffen wurde, daß man des Nachts mit einem Hammer auf die Glocke schlagen konnte, welche sich an dem einen Ende befand. Der Beobachter am andern Ende hörte einen doppelten Schall; einmal auf gewöhnliche Weise durch die in der Röhre eingesperrte Luft, dann aber vermittelst der Fortpflanzung der Vibrationen durch die Eisenmasse. Dieser letztere Schall wurde früher vernommen, als jener, und die Zwischenzeit durch genaue Chronometer bestimmt. Als Resultat gieng hervor: daß sich die Vibrationen durch die Eisenmasse ungefähr 10mal so schnell, als durch die atmosphärische Luft fortgepflanzt haben. Außerdem dienen solche Röhren auch dazu, um die Schallbewegungen der Luft auf weit größere Entfernungen durch ihr Inneres vernehmlich fortzuleiten, als dieses in freier Luft geschieht. Diese Schwingungen

welche hier nicht nach außen zerstreut werden können, erhalten durch die Rückwirkung solcher metallenen Röhren noch größere Verstärkung.

§. 13.

Die Reflexion des Schalles, nebst Anwendungen davon auf das Echo, Sprachrohr und Hörrohr.

I. Da die Fortpflanzung der Schallbewegungen in einem pendelartigen Hin- und Herschwingen und allmählich weiter schreitenden Impulse der kleinsten Lufttheilchen besteht; die Luft aber ein mit großer Spannkraft versehener Körper ist: so müssen diese Luftwellen, wenn sie an einem harten Körper anstoßen, nach dem Gesetze der Reflexion elastischer Massen wiederum zurückkehren. Dieses Reflexionsgesetz heißt: ein elastischer Körper, welcher senkrecht oder schief gegen eine harte Ebene anstößt, wird dergestalt von ihr zurückgeworfen, daß der Zurückwerfungswinkel dem Einfallswinkel gleich ist. Hierauf gründen sich nun die Erscheinungen von der Zurückwerfung oder von der Reflexion des Schalles. Wenn man z. B. die Stärke der Stimme eines im Freien und sodann in einem, von glatten, harten Wänden umschlossenen Gemache Sprechenden mit einander vergleicht: so ist letztere weit bedeutender, als jene. Wenn man durch lange, mit steinernen Platten belegte, und mit glatten Wänden umschlossene Gänge mit festem Fußtritte geht, so hört man den sogenannten Wiederhall. Da sich die Schallschwingungen durch 1038 Fuß in einer Sekunde fortpflanzen, so muß die Zeit, welche verfließt, wenn die durch die Stimme eines Sprechenden entstandenen Schallwellen gegen die Wände anstoßen, und wieder zum Orte des Urschalles zurückkehren, so unbedeutend seyn: daß dieser reflectirte Schall mit dem Urschalle in Eins zusammentrifft und hierdurch eine Verstärkung des letztern bewirkt. Im Freien hat diese Reflexion gar nicht statt; von weniger contractilen Körpern aber, z. B. von wolle-

nen Tapeten, wird der Schall kaum merkbar zurückgeworfen.

II. Hierauf beruhen die verschiedenen Erscheinungen des Echo's. Die Erfahrung hat gelehrt, daß zwei Töne, welche nicht schneller, als um den neunten Theil einer Secunde auf einander folgen, dem Ohre noch als zwei getrennte Töne erscheinen. Folgen sie sich schneller, so bilden sie nur Einen Ton. Soll daher ein Ton, von der reflectirenden Ebene zurückgeworfen, nicht blos zur Verstärkung des Urschalls dienen, sondern als vernehmliches Echo zurückkehren: so muß die Gesammtzeit für den Hin- und Hergang der Schallwellen, zum wenigsten $\frac{1}{9}$ der Secunde betragen; oder, diese Ebene muß vom Orte des Urschalles so entfernt seyn, daß die Schallwellen in $\frac{1}{18}$ der Secunde dieselbe erreichen. Wird nun die Zahl 1038, welche den Weg der Schallschwingungen für eine Secunde ausdrückt, durch 18 dividirt: so zeigt der Quotient $57\frac{2}{3}$ Fuß die Entfernung einer Ebene, welche einen Ton, z. B. eine Silbe zurückgeben kann. Soll das Echo zweitönig oder zweisilbig seyn: so muß diese Entfernung das Doppelte, d. h. etwa 115 Fuße betragen. Da die Hälfte von 1038 Fuß, d. h. 519 Fuß in einer halben Secunde zurückgelegt wird, so wird eine ganze Secunde verfließen, bis das Echo zum Orte des Urschalles zurückkehrt. Je mehr Töne in dieser Zeit schnell hinter einander erregt werden können, desto mehrtöniger wird das Echo werden. Indessen ist diese Entfernung nicht die einzige Bedingniß zur Bildung eines deutlichen Echo's, und es wirken unstreitig mehrere Verhältnisse zusammen, welche zum Theil noch unbekannt sind. Daß der reflectirende Körper keine durchaus zusammenhängende Fläche zu seyn brauche, zeigt das im Walde entstehende Echo. Das mehrfache Echo, d. h. jenes, welches den Urschall mehrmal, aber mit abnehmender Stärke zurückgibt, ist eine Folge von mehrfacher Reflexion der Schallwellen; welche von der ersten reflectirenden Ebene sowohl zum Orte des Urschalles zurückkehren, als auch gegen eine zweite

entferntere Ebene anstoßen, woher sie ebenfalls wieder zu diesem Orte reflectirt werden. Wenn Kanonen in gebirgigen Gegenden abgebrannt werden, so zeigt sich dieses mehrfache Echo sehr deutlich.

III. Fischer führt in seinem physikalischen Wörterbuche, Bd. I. Seite 1791 und 1792 einige der merkwürdigsten Echo's an. Caspar Barth spricht von einem Echo bei Koblenz, welches ein Wort 17 mal wiederhole. Gallois beschrieb ein ähnliches, welches sich zu Rouen befindet, und das Merkwürdige hat: daß der Singende nicht das Echo, sondern nur seine Stimme, der Zuhörer aber das nur Echo und dieses sehr verändert vernimmt; indem es bald nahe, bald fern; bald deutlich, bald kaum hörbar; bald als Eine Stimme, bald als mehrere; bald rechts bald links, nach Verschiedenheit des gewählten Standortes erscheint. Kircher und Schott erzählen von dem, mit hohen parallelen Mauern umgebenen Schlosse Simonetta: daß ein einsilbiges Wort, aus einem bestimmten Fenster gerufen, vierzig mal wiederholt werde. Bei Verdün wird ein Echo von zwei hohen, sechs und zwanzig Toisen von einander abstehenden Thürmen gebildet. In dem einen ist ein gewölbtes Gemach, in dem andern ein gewölbter Vorhof. Ein auf gerader Linie zwischen beiden Thürmen gesprochenes lautes Wort wird 12 bis 13 mal, doch immer schwächer wiederhohlt.

IV. Da sich die Schallwellen rings um den schallerregenden Körper her allseitig verbreiten, so kann man sich diese Verbreitung geradelinig denken, und hat dieselbe durch gerade Linien anschaulich gemacht, welche Schallstrahlen heißen. Es seyen (Fig. 62.) ACB und DEF zwei in bedeutender Entfernung einander entgegen stehende parabolische Spiegel, I und P ihre Brennpunkte. Wird in I mit leiser Stimme gegen ACB gesprochen, so stellen IH, IC und IK die durch den Mund des Sprechenden gebildeten Schallstrahlen vor; welche nach dem Gesetze der Zurückwerfung parabolischer Flächen, in parallelen Richtungen HL, CE, KM gegen den Spiegel DEF geleitet und

von diesem, nach ähnlichem Gesetze, wiederum im Punkte P vereinigt werden. Wer sich bei P befindet, wird das in I Gesprochene vernehmen; nicht aber Jener, welcher zwischen I und P stehet, da die parallel fortschreitenden Luftschwingungen hier eine weit geringere Stärke, als bei ihrer Wiedervereinigung in P haben. Hierauf beruht die bekannte Wirkung der sogenannten Sprachgewölbe, worin man an einem bestimmten Orte dasjenige deutlich hört, was an einem entferntern Orte leise gesprochen wird, und wovon die dazwischen Stehenden nichts vernehmen. Der Grund davon liegt in einer elliptischen Wölbung der Decke. Die Sternwarte zu Paris: mehrere Kirchen und andere Gebäude enthalten dergleichen Sprachgewölbe, wohin wohl auch das sogenannte Ohr des Dionysius zu rechnen ist. Nach Derham ist die Kuppel der Paulskirche in London dadurch merkwürdig: daß man den Schlag einer Taschenuhr von einem Ende zum andern hört, und daß das leiseste Geräusch gleichsam einen ganzen Umlauf um die Kuppel macht.

V. Noch gehört das Sprachrohr und das Hörrohr hierher. Jenes soll dazu dienen, die menschliche Stimme weit über die gewöhnliche Grenze vernehmlich; dieses aber einen schwachen Schall hörbar zu machen, oder auch harthörigen Personen das Hören zu erleichtern. Die zweckmäßigste Gestalt des Sprachrohrs ist die des abgekürzten Kegels, welcher von contractiler Materie verfertigt, weder zu dünn, noch zu dick an Masse seyn darf. Metallbleche eignen sich am besten dazu. Wenn man mit starker Stimme durch die enge Oeffnung hineinspricht: so wird der Schall, im Innern mehrfach reflectirt, durch die Mitwirkung der in Bewegung gerathenen Materie des Instrumentes verstärkt, und so mit erhöhter Kraft nach paralleler Richtung ins Freie treten. Für das Hörrohr hat man die parabolische Gestalt am zweckmäßigsten gefunden. Ein enges Röhrchen, welches aus der parabolischen Krümmung hervortritt, wird in das Ohr gehalten, welchem hierdurch ebenfalls verstärkte Luftschwingungen zugeführt werden.

VI. Zum Schlusse dieser Lehre soll noch eine kurze Beschreibung des Ohres, nach Klügels Encyclopädie I. Thl. Seite 560 und ff. folgen. Das äußere Ohr ist ein muschelförmiger Knorpel mit verschiedenen Vertiefungen und Erhöhungen, um die Schallwellen besser aufzufangen, und in den Gehörgang zu leiten. In diesem befinden sich viele kleine Drüsen, welche eine bittere, fette Materie absondern, wodurch derselbe geschmeidig erhalten wird. Der äußere, anfangs knorpelige Gehörgang erstreckt sich in das Felsenbein, einen untern Theil des Schlafknochens, und endigt sich hier an der Trommelhöhle oder Pauke. In dieser Höhle befinden sich die vier sehr zarten Gehörknöchelchen: nämlich der Hammer, welcher vermittelst seines Griffs mit der Trommelhaut zusammenhängt; ferner der (einem Backenzahn ähnliche) Amboß, dessen dicker Theil mit dem Kopfe des Hammers durch ein Gelenk verbunden ist; und der Steigbügel, dessen Wölbung sich mit dem längern herabsteigenden Schenkel des Amboßes vermittelst des plattrunden Knöpfchens verbindet. Diese Knöchelchen werden durch eine schleimichte Feuchtigkeit geschmeidig erhalten.

Aus der Trommelhöhle geht ein trompetenförmiger Gang, die Eustachische Röhre, nach der Nasenhöhle hinten am Schlunde; vermuthlich um immer frische Luft zuzuführen, welche der äußern an Federkraft gleich ist. Einige Muskeln regieren den Hammer, und können dadurch mittelbar die Trommelhaut spannen oder nachlassen. Auch der Steigbügel kann durch einen Muskel um das eine Ende einer halbeyförmigen Grundfläche ein wenig gedreht werden.

Auf die Trommelhöhle folgt tiefer in dem Felsenbeine eine längliche verschlossene Höhle, der Labyrinth. Er enthält in der Mitte den Vorhof, einen rundlichen Raum, kleiner als die Trommelhöhle; nach hinten 3 halbkreisförmige, knöcherne Röhren, welche mit den membranösen inwendig bekleidet sind, und mit 5 Mündungen sich in den Vorhof öffnen; nach vornen die Schnecke, eine all-

mählich sich verengende Röhre; die zum Theil um eine Säule oder Spindel kegelförmig mit dritthalb Umgängen gewunden, und durch eine, halb knöcherne, halb häutige Scheidewand der Länge nach in zwei Gänge getheilt ist. Die obere öffnet sich in den Vorhof, die untere gegen die Trommelhöhle, nur daß ihre Mündung mit einer feinen Haut verschlossen ist. Diese Mündung heißt das runde (rundlich-dreieckige) Fenster. Eine andere Oeffnung in der Wand zwischen dem Vorhofe und der Trommelhöhle, das eirunde (halbeirunde) Fenster, wird von der Grundfläche des Steigbügels, durch ein Häutchen am Rande völlig verschlossen. Der ganze Labyrinth ist mit einem feinen Wasser gefüllt, welches von den zarten Arterien der Beinhaut ausgehaucht, und durch zwei dünne, trichterförmige Kanäle abgeführt wird.

Zu dem Labyrinthe führt, von der Schädelhöhle her, der innere Gehörgang. In diesen tritt sowohl der harte, als der weiche Gehörnerve, geht von da mit verschiedenen Zweigen in die Schnecke und in den Vorhof, bringet sich in dem letztern in eine breiartige Haut aus, welche sich in die bogenförmigen Röhren erstreckt, und diese inwendig bekleidet. Auch begibt er sich in eine Verdoppelung der Beinhaut des Labyrinths, welche als Scheidewand den Vorhof in zwei Theile theilt. Durch den Kanal der Spindel von der Schnecke tritt ein einzelner Nervenfaden bis zur Spitze; ihre Hauptnerven erhält aber die Schnecke aus einer löcherigen Spiralmündung an ihrem Boden, rings um den Anfang des Kanals der Spindel. Aus den feinen Körpern an dem Umfange der Spindel treten die zarten Nervenfädchen hervor, begeben sich zwischen die Knochenblättchen der spiralförmigen Scheidewand, und erstrecken sich bis in den häutigen Rand derselben.

Der Schall wird durch eine schwingende Bewegung der Lufttheilchen erregt. Die Luftwellen werden von der Ohrmuschel aufgefangen und verstärkt in den Gehörgang geleitet. Hier setzen sie die Trommelhaut in zitternde Bewegung, welche sich den Gehörknöchel-

chen mittheilt. Der um das eine Ende seiner Grundfläche bewegliche Steigbügel erschüttert das Wasser des Labyrinthes, etwa wie der Hammer eine Glocke erschüttert. Die ausgespannte, nervige Scheidewand des Vorhofs geräth in Schwingungen, wodurch das Wasser in den bogenförmigen Kanälen auf ähnliche Art bewegt wird. Auch pflanzt sich die Erschütterung in das Wasser der obern Stiege fort, und wegen der Gemeinschaft beider Stiegen an der Spitze der Schnecke, auch in das Wasser der untern Stiege, bis zu dem Häutchen des runden Fensters. Da dieses nachgiebig ist, so begreift man, wie das Wasser des Labyrinths eine gewisse, zur Erschütterung nöthige Beweglichkeit gleich einer Glocke, haben könne. Das Häutchen gibt die Erschütterung des Wassers in der Schnecke zurück, wodurch die Wirkung vermehrt wird. Vielleicht ist auch die Erschütterung der Luft in der Trommelhaut hierbei mit wirksam; obwohl die Trommelhöhle viel Schleim enthält, und die Bewegung der Luft sich durch den Eustachischen Gang verliert. Das in zitternde Bewegung versetzte Wasser wirkt auf die im Labyrinthe verbreiteten Nerven, welche den Eindruck zum Gehirne fortpflanzen, wo derselbe sodann auf eine für uns unerklärliche Weise vernommen wird.

Der

Grundlehren der Physik und Mechanik

Zweites Buch.

Die allgemeine Bewegungslehre.

Zweites Buch.

Die allgemeine Bewegungslehre.

Erstes Kapitel.

Einleitung.

Der Gegenstand dieser Einleitung ist eine kurze Uebersicht des gesammten Gebietes der Mathematik. Sie wird hier nicht am unrechten Orte stehen, da sie den Anfängern dieses Studiums den Begriff und die Haupttheile der Mathesis entwickelt; woraus sich zugleich auch die Stelle bestimmen wird, welche die allgemeine Bewegungslehre nebst der Statik und Mechanik in der Reihe mathematischer Wissenschaften einnimmt. Vielleicht ist auch den Anfängern eine solche Uebersicht bisher noch nicht zu Theil geworden, wodurch also ihr Studium einen höhern Grad von Vollständigkeit erhalten wird.

§. 1.

Begriff der Mathematik. Uebersicht der Theile der reinen Mathesis.

I. Die Mathematik ist eine wissenschaftliche Lehre von den Größen. Was eine Größe sey, kann im eigentlichen Sinne nicht erklärt werden, da dieser Begriff ein höchst einfacher ist. Gewöhnlich pflegt man zu sagen: die Größe sey Dasjenige, was einer Vermehrung und Verminderung fähig ist. Man sieht jedoch, daß dieses mehr eine Erläuterung als eine

Erklärung dieses Begriffes ist. Beispiele von Größen sind: die Zahlen, Linien, Flächen, Körper, Kräfte u. s. w. Diese Größen werden in der Mathematik nach ihrem Begriffe und nach ihrem Maaße genau bestimmt. Da sich aber die Größe entweder blos an sich, oder an wirklichen Gegenständen der Natur betrachten läßt, so zerfällt die Mathematik überhaupt in die reine und angewandte. Jene untersucht die Größen an und für sich selbst betrachtet, z. B. die Zahlen als bloße Mengen gleichartiger Dinge, die Linien als bloße Ausdehnungen nach der Länge u. s. w.; diese aber hat die Bestimmung der Größe wirklicher Gegenstände zum Objecte, z. B. die Bestimmung der Höhe eines Thurmes, der Größe eines Grundstückes u. s. w.

II. Die Haupttheile der reinen Mathematik sind die Zahlenlehre oder Arithmetik und die Raumlehre oder Geometrie. Jene beschäftigt sich mit Untersuchung der Zahlen, d. h. jener unstetigen Größen, deren Natur blos von der Menge ihrer Einheiten abhängt. Diese aber untersucht die stetigen Größen, d. h. jene, welche in einem ununterbrochenen, lückenlosen Zusammenhange der Theile zum Ganzen bestehen. Dergleichen sind z. B. die Linien, Flächen und Körper.

Da die Zahlenlehre, wenn sie sich der gewöhnlichen Ziffer bedienet, nur individuelle Resultate liefert: so wurde eine andere Rechnungsmethode erfunden, wodurch man im Stande ist, allgemeine Vorschriften zu erhalten. Man nennt jenen Theil der Mathematik, welcher sich, anstatt der Ziffern der Buchstaben bedienet, die Buchstabenrechnung. Man sieht, daß die Buchstaben als allgemeine Zahlzeichen angesehen werden können, welche daher auch auf allgemeine Resultate führen. Auf der Buchstabenrechnung beruhet die Algebra, d. h. jene Lehre, welche aus gegebenen Größenverhältnissen die unbekannten Größen durch Gleichungen auffindet. Eine Gleichung ist aber die Darstellung einer und derselbigen Größe unter verschiedenen arithmetischen Formen. Die

gewöhnliche Algebra ist auf die Gleichungen vom ersten und zweiten Grade beschränkt.

III. Wenn man die sogenannten höhern Gleichungen d. h. jene, welche die quadratischen überschreiten, zum Gegenstande der Betrachtung macht: so entsteht hieraus die Analysis des Endlichen, oder die Analysis endlicher Größen, weil in ihr die Begriffe vom unendlich Kleinen nicht vorkommen. Betrachtet man dagegen die sogenannten unendlich kleinen Größen, d. h. jene, welche kleiner, als irgend eine angebliche werden können: so entsteht hieraus die Analysis des Unendlichen, deren Erfinder Leibnitz und Newton sind. Sie besteht aus der Differenzial-Rechnung, welche lehrt, die den gegebenen veränderlichen (oder veränderlichen und beständigen) Größen angehörigen Differenziale zu finden; und aus der Integral-Rechnung, welche die Regeln gibt, wie aus gegebenen Differenzial-Ausdrücken die ihnen zugehörigen Größen bestimmt werden können.

IV. Die Trigonometrie oder rechnende Dreieckslehre geht aus Verbindung der Arithmetik und der Geometrie hervor. Sie lehrt, wie man aus den, zur Bestimmung eines Dreieckes nöthigen, drei Stücken die fehlenden durch Rechnung finden kann. Sie ist entweder die ebene oder die sphärische Trigonometrie, je nachdem sie sich mit ebenen oder mit sphärischen Dreiecken beschäftigt.

Die Geometrie wird gewöhnlich in die niedere und höhere abgetheilt. Die niedere oder Elementar-Geometrie betrachtet die geraden Linien, geradlinig begrenzten Ebenen, die Körper von ebenen Grenzflächen, nebst dem Kreise und der Kugel. Auch bestimmt sie den Inhalt von gemischtlinigen und krummlinigen Figuren durch Annäherung. Die höhere Geometrie untersucht vorzüglich die sogenannten Kegelschnitte, d. h. die Ellipse, Parabel und Hyperbel; sodann mehrere Curven anderer Art, welche entweder auf dem geometrisch-analytischen,

oder auf dem analytisch-geometrischen Wege betrachtet werden.

Auf ähnliche Weise wird die reine Mathesis in die niedere (Elementarmathematik) und in die höhere eingetheilt. Jene umfaßt die gemeine Arithmetik, Geometrie, Trigonometrie, Buchstabenrechnung und Algebra; diese aber die Analysis endlicher Größen, die höhere Geometrie und die Differenzial- und Integralrechnung, mit ihren so mannichfaltigen Anwendungen.

§. 2.

Uebersicht der Haupttheile der angewandten Mathematik.

I. Da die reine Mathematik auf unendlich viele Gegenstände angewendet werden kann, so ist ihr Gebiet unermeßlich. Doch pflegt man zur bequemern Uebersicht vier Haupttheile zu unterscheiden, welche die mechanischen, optischen, astronomischen, und technisch-mathematischen Lehren genannt werden, und deren jede wiederum ihre Unterabtheilungen hat.

II. Die mechanischen Wissenschaften (Mechanik überhaupt) bilden jenen Theil der angewandten Mathesis, welcher sich mit den Kräften in der Natur und Kunst beschäftigt, und dieselben nach ihrem Maaße und Gesetze bestimmt. Man versteht aber unter Kraft nicht blos dasjenige, was eine wirkliche Bewegung hervorbringt, sondern auch jenes, was eine Bewegung zu hemmen im Stande ist. Da keine Veränderung in der Körperwelt ohne Einwirkung einer Kraft möglich ist, so geht hieraus die Wichtigkeit dieser Lehre hervor. Den mechanischen Wissenschaften dient die allgemeine Bewegungslehre zur Einleitung und zum Theile auch als Grundlage: da sie sowohl die allgemeinsten Gesetze der Bewegung an dem Beweglichen überhaupt, als auch an den physischen Körpern im Allgemeinen entwickelt. Die Sta-

tik lehrt die Gesetze für das Gleichgewicht der Körper am Hebel und an andern, theils damit verwandten, theils hieraus entspringenden Vorrichtungen. Die Mechanik im engern Sinne ist die Lehre von den einfachen nud zusammengesetzten Maschinen. Man versteht aber unter Maschinen oder mechanischen Werkzeugen alle Vorrichtungen, welche entweder die Ersparniß an Kraft oder eine zweckmäßige Bewegung hervorbringen.

Den zweiten Theil der mechanischen Wissenschaften bildet die Hydrostatik, d. h. die mathematische Lehre von den tropfbaren Flüssigkeiten; in Hinsicht ihres Gleichgewichtes, ihres Druckes auf die Grundflächen und auf die Seitenflächen der sie enthaltenden Gefäße, und ihrer Vergleichung mit festen Körpern. Da diese Lehre aus der physischen Beschaffenheit der liquiden Körper hervorgeht, so kann dieselbe — zumal da, wo bei ihrem Vortrage tiefere mathematische Untersuchungen wegfallen müssen — als Theil der allgemeinen Physik abgehandelt werden, wie dieses auch im vorhergehenden Buche geschehen ist. — Auch gehört noch die Hydraulik (Hydrodynamik) hierher, welche die Gesetze der Bewegung tropfbarer Flüssigkeiten und der hieraus hervorgehenden Erscheinungen untersucht.

Als dritter Theil der mechanischen Wissenschaften nennt man die Aerometrie, welche sich mit einer mathematischen Entwickelung der Phänomene luftförmiger Stoffe beschäftigt, deren allgemeiner Stellvertreter die gemeine oder atmosphärische Luft ist. Wenn man diese Lehre nach ihren Hauptgrundzügen mehr physisch, als mathematisch betrachtet, so bildet sie ebenfalls einen Theil der allgemeinen Physik; und in diesem Sinne ist sie im vorigen Buche zum Behufe der ersten Anfänger durchgeführt worden. Als Theil der Aerometrie kann man die Acustik, d. h. die Lehre vom Schalle überhaupt und von dessen mancherlei besondern Erscheinungen noch besonders nennen.

III. Dasjenige, was uns die Dinge sichtbar macht, d. h. das Licht, ist der Gegenstand der optischen Wissenschaften, welche nach den drei Hauptphänomenen desselben, drei Unterabtheilungen bilden.

Die Optik im engern Sinne des Wortes untersucht die Gesetze, nach welchen sich das Licht geradlinig fortpflanzet, und die hieraus hervorgehenden Erscheinungen. Die Perspektive kann als Theil derselben betrachtet werden, da sie auf der geradlinigen Verbreitung des Lichtes beruht. Sie giebt die Regeln, nach welchen das Bild einer ebenen Figur oder eines Körpers dem Auge auf einer Ebene erscheint, welche sich zwischen beiden befindet, und, gleich dem Objecte und dem Auge, der Lage nach gegeben ist. Dieses Bild nennt man die Projection des Gegenstandes; und die Perspektive hat sowohl die Projection der Figuren und Körper, als auch des Schattens der letztern zu bestimmen.

Die Katoptrik (Spiegelkunst) ist jener Theil der optischen Wissenschaft, welcher das Gesetz von der Reflexion des Lichtes auf die mancherlei Erscheinungen der Spiegel anwendet. Wenn nähmlich ein Lichtstrahl schief gegen eine ebene spiegelnde Fläche auftrifft, so bewegt er sich in derselbigen Ebene und unter gleichem Winkel jenseits zurück. Trifft er lothrecht auf die Ebene, so wird er in sich selbst zurückgeworfen. Dieses Phänomen heißt die Zurückwerfung oder Reflexion des Lichtes.

Wenn das Licht durch durchsichtige Körper, z. B. durch Glas, Wasser, Luft, u. dergl. sich bewegt, so erleidet dasselbe, bei dem Eintreffen in diese Substanzen, eine Ablenkung von seiner ursprünglichen Richtung, welche auch wieder bei dem Austritt aus diesen Körpern Statt findet. Dieses Phänomen nennt man die Brechung oder Refraction des Lichtes, und der Inbegriff ihrer Gesetze und Anwendungen bildet die Dioptrik, welche der ausgedehnteste und lehrreichste Theil der optischen Wissenschaften ist.

IV. Die Betrachtung der Himmelskörper, mit Einschluß unserer Erde, ist der Gegenstand der astronomischen Wissenschaften, oder der Astronomie im weitern Sinne, welche folgende Abtheilungen hat.

Die historische Astronomie ist eine bloß erzählende Beschreibung der Himmelskörper, d. h. der Firsterne, der Haupt- und Nebenplaneten, mit den Cometen, und desjenigen, was wir über ihre physische Beschaffenheit mit mehr oder weniger Zuverlässigkeit wissen oder vermuthen.

In der sphärischen Astronomie werden die Bewegungen der Gestirne so betrachtet, wie sie uns von der Erde aus erscheinen; in der theorischen aber wird der Schein von der Wirklichkeit gesondert, und ihre wahre Bewegung nachgewiesen.

Die physische Astronomie entwickelt die Bewegungen der Himmelskörper aus den Grundsätzen der Mechanik, und wendet so die Lehren von der Zusammenwirkung der Kräfte auf diese Erscheinungen an. Sie ist das Meisterstück des menschlichen Verstandes, und Newton ihr erster Erfinder.

Der Gegenstand der praktischen Astronomie ist die Kenntniß und Anwendung der astronomischen Werkzeuge zur Erforschung der Phänomene, der verschiedenen Beobachtungsmethoden, und der so höchst wichtigen Hülfstafeln.

Die mathematische Geographie, d. h. die wissenschaftliche Lehre von der Gestalt und Größe unserer Erde, von der Bestimmung der Orte auf derselben, von ihrer Eintheilung, von der Verfertigung der Landcharten, u. s. w. steht in innigster Verbindung mit der Astronomie. Die Chronologie, welche Anwendungen von der, durch astronomische Untersuchungen bestimmten, Größe des Sonnenjahrs, und des Mondenmonates auf die Eintheilung der bürgerlichen Zeit macht, ist nicht rein mathematisch, sondern enthält vieles Historische beigemischt. Die Gnomonik endlich lehrt, wie man auf jede gegebene Fläche eine Sonnenuhr verzeichnen könne. Auf einfacher

Theorie beruhend, ist sie nur durch Anwendung auf vielerlei praktische Fälle weitläuftig geworden.

V. Zur technischen Mathematik kann man (nach Klügel's mathem. Wörterb. III. Bd. S. 613 u. f.) folgende sieben Abtheilungen zählen:

1) Die praktische Arithmetik, welche die mercantilische, juristische und politische Rechenkunst in sich faßt;

2) Die practische Geometrie mit Einschluß der niedern und höhern Feldmeßkunst, der Forstgeometrie, des Nivellirens und der Markscheidekunst;

3) Die praktische Mechanik, welche vortheilhafte Maschinen, theils zum Heben und Ziehen, theils zur Verfertigung von allerlei Dingen des bürgerlichen Lebens, theils zur Erhebung des Wassers, theils zur Messung der Zeit, u. s. f. angibt.

4) Die bürgerliche Baukunst, (Architektur) d. h. die Lehre, wie Gebäude fest, zweckmäßig und schön aufzuführen sind.

5) Die Wasserbaukunst (Hydrotechnik) welche von Anlegung der Dämme, Canäle, Häfen, und von Leitung der Flüsse handelt.

6) Die Kriegswissenschaften, nämlich die Artillerie (Geschützkunde) die Fortification (Befestigungskunst, die Angriffs- und Vertheidigungskunst fester Plätze, und dann die Taktik.

7) Die Wissenschaften des Seewesens: nämlich der Schiffbau, die Regierung des Schiffes und die Steuermannskunst. Die beiden ersten beruhen zum Theil auf der höhern Mechanik, die letztere ist von der Astronomie abhängig.

Zweites Kapitel.

Allgemeine Vorbegriffe und Vordersätze von der Bewegung überhaupt.

In diesem Kapitel wird der Begriff des Ortes, der Bewegung und Ruhe, und ihrer verschiedenen

Arten bestimmt; worauf der Begriff der Geschwindigkeit und ihre Gesetze näher untersucht; und endlich die verschiedenen Gattungen der Bewegungen angeführt werden.

§. 1.

Bewegung und Ruhe. Geschwindigkeit und ihre Gesetze.

I. Unter dem Orte eines Körpers versteht man den Raum, welchen er einnimmt. Wird dieser nur für sich betrachtet, so heißt er der absolute Ort; der relative aber wird jener genennt, welchen der Körper in Bezug auf andere ihn umgebende einnimmt. Die stetige Ortsveränderung heißt Bewegung; das Beharren an demselben Orte aber wird Ruhe genennt. Hieraus folgt: daß sowohl die Bewegung, als die Ruhe eine absolute oder eine relative seyn kann.

II. Die Bewegung ist eine eigene, welche einem Körper allein zukömmt, während andere zu ihm gehörige ruhen; gemeinschaftlich aber, worin sich mehrere zusammen gehörige Körper befinden. Die wirkliche Bewegung besteht in einer wirklichen; die scheinbare aber in einer blos scheinbaren Ortsveränderung. Auch ist die Bewegung geradlinig, krummlinig, oder gemischtlinig; je nachdem der bewegliche Punct eine gerade, krumme oder gemischte Linie beschreibt.

III. Jede Bewegung setzt Raum und Zeit voraus, d. h. einen Raum, welcher beschrieben, und eine Zeit, worin er beschrieben wird. Ohne Zeit und Raum läßt sich durchaus keine Bewegung denken; aber beide stehen, als stetige Größen, in solcher Wechselverbindung: daß man den Raum durch die Zeit, und die Zeit wiederum öfters durch den Raum zu messen pflegt. Die Entfernung zweier Orte, d. h. ihr Abstand im Raume, wird durch die Stundenzahl gemessen, welche verfließt, um von dem einen zum an=

dern zu kommen. Die Zeit des Jahres bestimmt der vollendete Umlauf der Erde um die Sonne, u. s. w.

IV. Hierauf beruht auch der Begriff der Geschwindigkeit, deren Größe weder blos aus dem Raume, noch allein aus der Zeit, sondern nur durch eine Vergleichung von beiden bestimmt werden kann. Hieraus lassen sich folgende Bestimmungen festsetzen:

Erstes Gesetz. Wenn sich zwei Körper in einerlei Zeit bewegen, so stehen ihre Geschwindigkeiten im geraden Verhältnisse der zurückgelegten Räume. Nennt man die Geschwindigkeiten C, c; die Räume S, s, und die Zeiten T, t; so ist, wenn man $T = t$ nimmt, die Proportion diese:

$$C : c = S : s$$

Zweites Gesetz. Wenn sich zwei Körper durch gleiche Räume bewegten, so stehen ihre Geschwindigkeiten im verkehrten Verhältnisse ihrer Zeiten. Oder für $S = s$, wird hier

$$C : c = t : T$$

Drittes Gesetz. Wenn die beiden Körper in ungleichen Zeiten ungleiche Räume beschreiben: so stehen ihre Geschwindigkeiten im zusammengesetzten Verhältnisse aus dem Geraden ihrer Räume und dem Umgekehrten ihrer Zeiten. Oder es ist hier

$$C : c = S \times t : s \times T.$$

Hieraus folgt, daß $C = c$ sey, wenn $S \times t = s \times T$ ist. Da aber hieraus die Proportion $S : s = T : t$ folget, so kann man sagen: die Geschwindigkeiten zweier Körper sind gleich, wenn sich ihre Räume gerade, wie ihre Zeiten verhalten; was auch für sich selbst schon einleuchtend ist.

V. Aus diesen Sätzen kann man nachfolgende Formeln ableiten:

1) $S = C \times T$, d. h. man findet den Raum, wenn man das Maaß der Geschwindigkeit mit dem Maaße der Zeit multiplicirt;

2) C = S : T, d. h. das Maaß der Geschwindigkeit wird gefunden, wenn man das Maaß des Raumes durch das Maaß der Zeit dividirt;

3) T = S : C, oder das Maaß der Zeit wird durch den Quotienten aus dem Maaße des Raumes durch das Maaß der Geschwindigkeit bestimmt.

Die Richtigkeit und Bedeutung dieser Formeln erkennt man sehr leicht aus einzelnen Zahlenbeispielen.

§. 2.

Gleichförmige und ungleichförmige Bewegung, und ihre Arten. Begriff der Kraft.

I. Die Bewegung heißt gleichförmig, wenn das Bewegliche in gleichen Zeiten gleiche Räume; ungleichförmig aber, wenn es in gleichen Zeiten ungleiche Räume beschreibt. Werden im letztern Falle die Räume immer größer, so ist eine beschleunigte; werden sie aber kleiner, eine verminderte Bewegung vorhanden. Jede von beiden kann gleichförmig oder ungleichförmig seyn, je nachdem die Zu- oder Abnahme der Räume einem bestimmten Gesetze folgt, oder nicht.

II. Da jede Bewegung als Wirkung erscheint; Wirkungen aber nur aus wirksamen Ursachen hervorgehen: so bezeichnet man Dasjenige, was eine Bewegung hervorbringt, mit dem Worte Kraft. Vormals hat man lebende und todte Kräfte unterschieden, und unter letzteren dasjenige verstanden, wodurch eine Bewegung gehemmt wird; wie z. B. die Kraft der Unterlage, welche den Stein trägt. Man sieht aber sogleich, daß der Begriff todte Kraft einen Widerspruch in sich selber hat, und daß wirksame Kräfte nur durch gleiche, ihnen entgegengesetzte aufgehoben werden können. Daher ist auch der Widerstand, welchen die Unterstützung dem Steine entgegensetzt, eine wahrhaft lebende Kraft zu nennen.

Drittes Kapitel.

Begriffe und Gesetze der einfachen Bewegung.

Der Gegenstand dieses Kapitels ist die Entwickelung jener Bewegungsgesetze, welche aus der Einwirkung einer einzigen Kraft hervorgehen, welche entweder in gleichen Pausen, oder ununterbrochen statt finden kann. Im letztern Falle entsteht eine gleichförmig beschleunigte Bewegung, deren Resultate sowohl arithmetisch, als geometrisch dargestellt, und sodann auf die freifallenden Körper angewendet werden.

§. 1.

Resultate der Wirkung einer einzigen Kraft.

I. Da man in dem Begriffe der Kraft nur zweierlei unterscheiden kann, ihre Richtung und ihre Größe, und da jede gerade Linie ebenfalls eine bestimmte Richtung und eine bestimmte Größe darstellt: so bieten die geraden Linien schickliche Versinnlichungsmittel der Kräfte dar. Man sagt z. B. (Fig. 63.) die Kraft AB, d. h. eine Kraft, deren Richtung sich von A nach B erstreckt, und deren Größe = AB ist. Desgleichen bedeutet die Kraft CD eine andere, sowohl nach Richtung als Größe von der vorigen verschiedene Kraft. Die allgemeine Bewegungslehre gewinnt hierdurch an Evidenz ihrer Wahrheiten, welche auf eine so anschauliche Weise nachgewiesen werden.

II. Wenn Eine Kraft in einem Momente auf ein Bewegliches einwirkt, so ist dessen Bewegung:

1) eine geradlinige, da in dem Begriffe der Kraft eine bestimmte Richtung, aber auch nur Eine Richtung liegt;

2) eine gleichförmige, da kein Grund vorhanden ist, wodurch das Bewegliche einmal schneller, als das andere Mal bewegt werden sollte;

3) eine unendliche, da nichts vorhanden ist, was der einmal wirkenden Kraft ein Hinderniß entgegensetzte, sie selbst aber sich selber nicht aufheben kann.

Aufs innigste mit diesem Gesetze verwandt ist das Beharrungsvermögen, d. h. das Unvermögen des Beweglichen, seinen Zustand von Ruhe oder Bewegung durch sich selbst zu ändern. Ist daher das Bewegliche in Ruhe, so muß es immerfort in Ruhe beharren, wenn keine wirksame Kraft darauf einwirkt; ist es aber einmal in Bewegung, so beharrt es auch in diesem Zustande ohne Unterlaß, bis fremde Kräfte etwas Anderes bestimmen. Dieses Beharrungsvermögen hat man sonst sehr unschicklich die Trägheit, oder wohl gar die Kraft der Trägheit genennt.

III. Wenn (Fig. 64.) eine Kraft nach der Richtung AB dergestalt auf ein Bewegliches wirkt, daß dasselbe in der ersten Zeiteinheit, z. B. in der ersten Secunde den Raum AC zurücklegte; und man nimmt an, daß mit Anfang der zweiten Secunde dieselbige Kraft von Neuem darauf einwirkt: so ist klar, daß auch der doppelte Raum oder CD zurückgelegt wird. Wiederholte sich im Anfange der dritten Secunde dieselbige Kraft abermals, so müßte auch in dieser Zeit der dreifache Raum oder DE beschrieben werden. Im Allgemeinen heißt dieses soviel: Wenn eine Kraft, sich selbst gleich bleibend, mit Anfange eines jeden gleichen Zeittheils nach der nämlichen Richtung, sich wiederholend auf das Bewegliche wirkt: so werden die Räume in demselbigen Verhältnisse wachsen, nach welchem die Zeiten zunehmen.

Nimmt man an, eine Kraft wirke dergestalt auf das Bewegliche, daß sie dasselbe nicht in getrennten Zeittheilchen, sondern ohne irgend eine denkbare Zwischenpause afficirt: so nennt man sie eine ununterbrochen oder stetig wirkende Kraft. Es ist klar, daß die hieraus hervorgehende Bewegung eine be-

schleunigte werde, weil die Kraft immer von Neuem einwirkt; aber sie muß auch eine gleichförmig beschleunigte seyn, da die Ursache der Beschleunigung eine unveränderliche ist. Das Gesetz, nach welchem die Räume in gleichen Zeiten zunehmen, soll nun entwickelt werden.

IV. Man nehme die Progression: 1, 2, 3, 4... n, n + 1..... 2n an, worin die einzelnen Glieder gleiche Zeittheilchen, z. B. Secunden, bedeuten sollen. Denkt man sich nun eine Kraft, welche das Bewegliche in der ersten Secunde durch den Raum = 1 bewegt, und von Secunde zu Secunde sich in ihrer Wirkung wiederholt: so drückt eben diese Reihe auch die auf einander folgenden Räume aus, welche diesen Zeiten entsprechen. Daher findet man den Gesammtraum von der ersten bis zum Ende der nten Secunde (nach der bekannten Formel für die Summirung der Glieder einer arithmetischen Reihe) $= (n + 1) \times \frac{n}{2}$. Nimmt man nun in der Zeit n eine unendliche Menge einzelner Momente an, in deren jeden die Kraft wirksam ist: so wird die vorhin als unterbrochen wirkend angenommene Kraft nunmehr eine stetig wirkende und die Zahl n gegen 1 unendlich groß; so, daß anstatt n + 1 die Größe n allein gesetzt werden kann. Daher wird obige Formel $(n + 1) \times \frac{n}{2}$ nunmehr $= n \times \frac{n}{2} = \frac{n^2}{2}$.

Auf gleiche Weise ist der Totalraum vom Anfange der ersten bis zum Ablaufe der 2nten Secunde $= (2n + 1) \times \frac{2n}{2}$ oder, da auch hier anstatt 2n + 1 die Größe 2n allein gesetzt werden kann, weil 1 gegen 2n = 0 ist, $= 2n^2$.

Heißt man den ersten Totalraum r, den zweiten R, so ist $r : R = \frac{n^2}{2} : 2n^2 = n^2 : 4n^2 = 1 : 4$, d. h. der Raum, welcher durch die stetige Kraft in zwei Secunden beschrieben wird, ist das

Vierfache jenes Raumes, welcher in der ersten Secunde zurückgelegt wurde.

Setzt man diesen Beweis weiter fort, so wird der Raum für die ersten drei Secunden das Neunfache des Raumes in der ersten Secunde; der Totalraum in den vier ersten Secunden das Sechzehnfache des primitiven Raumes betragen, u. s. w. Daher ist folgendes Gesetz bewiesen:

Die Räume, welche bei der gleichförmig beschleunigten Bewegung in zusammengenommenen Secundenzeiten beschrieben werden, verhalten sich wie die Quadrate dieser Zeiten.

Nun seyen die Zeitsecunden folgende:

1, 2, 3, 4, 5, 6, u. s. w. die zugehörigen Räume 1, 4, 9, 16, 25, 36 u. s. f. so findet man den in der zweiten Secunde allein beschriebenen Raum, wenn man vom Totalraume der zwei ersten Secunden den in der ersten Secunde allein zurückgelegten Raum abzieht, welches 4 — 1, oder 3 gibt. Auf gleiche Weise wird der Raum der dritten Secunde gefunden, wenn man von dem Raume der drei ersten Secunden den Totalraum der ersten und zweiten abzieht, woraus man 9 — 4 oder 5 findet. Auf ähnliche Weise ist der in der vierten Secunde beschriebene Raum = 16 — 9 = 7; der in der fünften Secunde zurückgelegte Raum = 25 — 16 = 9, u. s. f. Daher ist das zweite Gesetz für die gleichförmig beschleunigte Bewegung folgendes:

Die Räume, welche in einzelnen von 1 anfangenden, auf einander folgenden Secunden zurückgelegt werden, folgen dem Gesetze der ungeraden Zahlen: 1, 3, 5, 7, 9, 11, u. s. f.

V. Eben diese Gesetze lassen sich auf folgende Weise geometrisch entwickeln. Es sey PQ (Fig. 65.) eine Secunde, welche in 4 Viertel-Secunden PO, OT, TV und VQ getheilt ist; und eine Kraft wirke so auf das Bewegliche, daß in der Zeit PO der Raum OS beschrieben wird. Wenn diese Kraft sich in der zwei-

ten Zeit wiederholet, so muß der Raum TU, welcher das Doppelte von OS ist, beschrieben werden. Auf gleiche Weise wird in der dritten Zeit TV der dreifache Raum VW, und in der vierfachen Zeit VQ der vierfache Raum QR zurückgelegt. Nimmt man nun an, die Secunde PQ sey in unendlich viele gleiche Momente getheilt, so wird jedem derselben eine verhältnißmäßige Querlinie, als der ihr zugehörige Raum entsprechen; und wenn die Kraft ohne Unterbrechung, d. h. stetig während der ganzen Secundenzeit PQ wirket: so muß die Fläche des Dreiecks PQR der Gesammtraum seyn, welcher in der ersten Secunde durch die gleichförmig beschleunigte Bewegung beschrieben wird.

Nun sey AX eine unbestimmte Zeit, worin die Secunden AB, BD, DG, GM, u. s. f. angenommen werden. Zieht man unter einem willkührlichen spitzen Winkel die gerade Linie AY, und sodann die Parallelen BC, DF, GH, MN, u. s. w. so stellt das Dreieck ABC den Raum dar, welcher das Resultat der ersten Secunde AB ist. Hörte nun zu Anfange der zweiten Secunde BD die beschleunigende Kraft zu wirken auf: so würde, nach dem Gesetze des Beharrungsvermögens, in dieser zweiten Secunde der Raum BCLD = 2ABC gleichförmig beschrieben werden. Wirkt aber auch in der zweiten Secunde die stetige Kraft fort, so kömmt noch als Wirkung der Beschleunigung das Dreieck CLF = ABC hinzu, und der in dieser zweiten Secunde beschriebene Totalraum ist BCFD = 3ABC. Auf gleiche Art würde in der dritten Secunde der Raum DFZG gleichförmig beschrieben, wenn die beschleunigende Kraft zu wirken aufhörte. Da aber durch ihre Fortwirkung wiederum das Dreieck FZH = ABC hinzukömmt, so ist DFHG = 5ABC, der Totalraum für die dritte Secunde. Auf ähnliche Weise wird GHNM = 7ABC dieser Totalraum in der vierten Secunde seyn. Daher ist auch durch diese Darstellung bewiesen, daß die in den auf einander folgenden Secunden 1, 2, 3, 4, 5 u. s. f. beschriebenen Räume wie die ungeraden Zahlen 1, 3,

5, 7, 9, u. s. w. zunehmen, welches das in voriger Nummer bewiesene zweite Gesetz ist.

Hieraus folgt, daß der Raum für die erste und zweite Secunde = 1 + 3 = 4, der Raum für die ersten drei Secunden = 1 + 3 + 5 = 9; für die ersten vier Secunden = 1 + 3 + 5 + 7 = 16 sey, u. s. w. welches das in voriger Nummer erwiesene erste Gesetz ist.

Aus dem Bisherigen entspringt auch noch folgendes Gesetz, welches als das dritte angesehen werden kann. Wenn ein Bewegliches während einer bestimmten Zeit mit gleichförmig beschleunigter Bewegung fortgeschritten ist, und am Ende dieser Zeit die beschleunigende Kraft zu wirken aufhört: so wird sich dasselbe, nach dem Gesetze des Beharrungsvermögens, dergestalt gleichförmig fortbewegen, daß der in derselbigen Zeit beschriebene Raum das Doppelte des vorhergehenden ist.

§. 2.

Die Lehre vom freien Falle der Körper.

I. Von den im Bisherigen entwickelten Gesetzen der gleichförmig beschleunigten Bewegung wird eine sehr lehrreiche Anwendung auf den freien Fall der Körper gemacht. Die Schwerkraft zeigt sich als eine stetig wirkende Kraft in der Natur; da die Körper ihren Druck in jedem Zeitmomente mit gleicher Stärke äußern. Daher muß die Bewegung frei fallender Körper eine gleichförmig beschleunigte seyn, und im Allgemeinen jenen Gesetzen folgen, welchen die gleichförmig beschleunigte Bewegung überhaupt unterworfen ist. Wie groß aber der Fallraum z. B. in der ersten Secunde sey, mußt man durch die Erfahrung bestimmen. Galilei war der erste, welcher mit seinen Gehülfen Riccioli und Grimaldi hierüber Versuche angestellt und gefunden hatte, daß die Körper in der ersten Secunde eine Höhe von et=

wa 15 rheinl. Fußen durchlaufen. Spätere genauere Resultate haben gelehrt, daß der Fallraum in der ersten Secunde = 15,625 rheinl. Fuße sey. Hieraus folgt: daß dieser Raum in der zweiten Secunde = 3 × 15,625; in der dritten Secunde = 5 × 15,625; in der vierten Secunde = 7 × 15,625 sey, u. s. w. Zwar leistet die Luft dem fallenden Körper einigen Widerstand; doch ist dieser Einfluß nicht gar sehr bedeutend.

II. Setzt man den, in n Secunden beschriebenen Totalraum = r, so ist $r = n^2 \times 15{,}625$; wodurch man die Fallhöhe für jede, in Secunden angegebene Fallzeit berechnen kann.

Aus dieser Formel wird $n^2 = \frac{r}{15{,}625}$, folglich

$$n = \sqrt{\frac{r}{15{,}625}} = \frac{\sqrt{r}}{3{,}952} = \sqrt{r} \times \frac{1}{3{,}952}$$

$= \sqrt{r} \times 0{,}253$, wodurch man zu einer, in rheinl. Fußen bestimmten Fallhöhe die gehörige Fallzeit nach Secunden berechnen kann.

Aus eben dieser Formel folgt auch, daß $\frac{r}{n^2}$ = 15,625 rheinl. Fuße ist; woraus man, durch genaue Beobachtung einer bestimmten Fallhöhe und der ihr entsprechenden Fallzeit, die Größe des Fallraumes für die erste Secunde berechnen könnte.

III. Hieher gehört nun der so wichtige Begriff von der Endgeschwindigkeit. Man versteht darunter die Größe jenes Raumes, welchen ein Körper binnen einer gewissen Zeit gleichförmig zurücklegen würde; wenn er in eben dieser Zeit frei gefallen wäre, und am Ende derselben von der beschleunigenden Kraft nicht ferner afficirt würde. Setzt man diese Endgeschwindigkeit für eine Secunde = g, so ist nach der ersten Secunde g = 2 × 15,625 = 31,25 rheinl. Fuße, d. h. ein Körper, welcher eine Secunde lang gefallen ist, würde, wenn am Ende dieser Zeit die Beschleunigung aufhörte, in der zweiten Secunde einen Raum von 31,25 rheinl. Fußen gleichförmig durchlaufen. Daher würde

er auch im letzten Momente der ersten Secunde schon diese Geschwindigkeit erhalten haben, welche man daher mit Recht die Endgeschwindigkeit nennt.

Hieraus folgt, daß nach n Secunden die Endgeschwindigkeit oder $g = \frac{n^2 \times 15,625 \times 2}{n} = 2n \times 15,625 = n \times 31,25$ sey, wodurch man leicht Beispiele berechnen kann.

IV. Wird aus dieser Formel der Werth von n entwickelt, so erhält man $n = \frac{g}{31,25}$, oder $n = g \times \frac{1}{31,25} = g \times 0,032$; woraus die Fallzeit gefunden werden kann, innerhalb welcher der fallende Körper ein bestimmtes Maaß von Endgeschwindigkeit erhält.

Aus der obigen Formel $g = 2n \times 15,625$ folgt auch diese $\frac{g}{2n} = 15,625$; welche dazu dient, um aus der gegebenen Endgeschwindigkeit und aus der dazu gehörigen Fallzeit den Fallraum der ersten Secunde zu finden.

Da $g = n \times 31,25$ und $n = 0,253 \times \sqrt{r}$ ist, so erhält man, durch Substitution dieses Werthes von n in jene Formel, $g = 0,253 \times \sqrt{r} \times 31,25 = \sqrt{r} \times 7,9062 \ldots\ldots$, wodurch aus der gegebenen Fallhöhe die ihr zugehörige Endgeschwindigkeit berechnet werden kann.

Aus der Formel $g = 7,9062 \times \sqrt{r}$ folget auch diese: $\sqrt{r} = \frac{g}{7,9062}$, und $r = \frac{g^2}{(7,9062)^2}$; wodurch man aus der gegebenen Endgeschwindigkeit die ihr zugehörige Fallhöhe berechnen kann.

Auch müßte hier jedesmal $\frac{g}{\sqrt{r}} = 7,9062$ seyn.

V. Es seyen die Endgeschwindigkeiten zweier, aus den Höhen R und r fallenden Körper G und g, so ist

$$\frac{G}{\sqrt{R}} = 7{,}9062;$$ und auf gleiche Weise

$$\frac{g}{\sqrt{r}} = 7{,}9062;$$ folglich ist auch

$$\frac{G}{\sqrt{R}} = \frac{g}{\sqrt{r}},$$ woraus die Proportion

$G : g = \sqrt{R} : \sqrt{r}$ folget, d. h. die Endgeschwindigkeiten zweier Körper, welche aus verschiedenen Höhen fallen, stehen im geraden Verhältnisse der Quadratwurzeln dieser Fallhöhen.

Da aus vorstehender Proportion auch diese folget, $G^2 : g^2 = R : r$, so stehen auch die Fallhöhen im geraden Verhältnisse von den Quadraten der Endgeschwindigkeiten.

VI. Daß sich die Bewegung eines frei fallenden Körpers der Gleichförmigkeit immer mehr annähere, je länger derselbe im Falle begriffen ist, läßt sich auf folgende Weise erkennen. Die Reihe der, in gleichen Zeiten beschriebenen Räume ist diese: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17. Wählt man hierin irgend zwei Paare unmittelbar auf einander folgender Glieder, z. B. 5 und 7, und 15 und 17, so ist klar, daß dem Verhältnisse von 5 : 7 noch $\frac{2}{7}$; dem Verhältnisse von 15 : 17 aber noch $\frac{2}{17}$ fehlen, um dem Verhältnisse von 1 : 1 gleich zu seyn. Da aber $\frac{2}{17}$ kleiner ist, als $\frac{2}{7}$, so ist das Verhältniß von 15 : 17 dem Verhältnisse der Gleichheit näher, als das Verhältniß von 5 : 7.

VII. Die gleichförmig verminderte Bewegung ist das Entgegengesetzte der gleichförmig beschleunigten. Da nun jene bei schweren Körpern statt findet, welche senkrecht in die Höhe geworfen werden, so treten auch hier dieselben Gesetze nach ihrem umgekehrten Ausdrucke ein; d. h. wenn der lothrecht steigende Körper in der ersten Secunde einen Raum = 9 beschriebe, so wäre der Raum in der zweiten Secunde = 7; in der dritten = 5; in der vierten = 3 und in dem fünften = 1; wo dann am Ende dieser vierten Secunde der Körper, seiner Wurfkraft gänz-

gänzlich beraubt, einen Augenblick ruhen, und sodann denselbigen Raum in der nämlichen Zeit mit gleichförmig beschleunigter Bewegung wiederum rückwärts durchfallen würde.

Viertes Kapitel.

Begriffe und Gesetze der zusammengesetzten Bewegung.

Dieses Kapitel untersucht die Erscheinungen, welche aus der Zusammenwirkung zweier oder mehrerer Kräfte, welche vereint auf das Bewegliche wirken, hervorgehen; und deren Hauptgesetz mit dem Namen „Parallelogramm der Kräfte" bezeichnet wird, welches so äußerst fruchtbar an theoretischen und praktischen Anwendungen ist. Den Schluß dieses Kapitels bildet sodann die Theorie der Wurfbewegung, bei welcher das Resultat keine geradlinige Bahn, sondern eine parabolische ist.

§. 1.

Entwicklung der Fälle, welche bei der Zusammenwirkung zweier Kräfte statt finden, nebst Anwendungen davon.

1. Wenn zwei, gleichförmig wirkende Kräfte zu gleicher Zeit auf ein Bewegliches einwirken: so stimmen sie entweder in ihrer Richtung genau überein, oder sie sind einander hierin vollkommen entgegengesetzt, oder ihre Richtungen sind weder einstimmig noch gerade entgegengesetzt. Jeder dieser Fälle muß besonders erwogen werden. Es wirke auf den beweg=

lichen Punkt M (Fig. 66.) eine Kraft MN, und zugleich auch, nach der nämlichen Richtung, eine Kraft OP ein: so ist klar, daß beide Kräfte, da keine die Wirkung der andern vermindern kann, nach ihrer Summe wirken müssen; wodurch der bewegliche Punkt M, welcher, von jener getrieben, den Raum MN, von dieser afficirt, den Raum OP beschreiben würde, in der nämlichen Zeit durch den Raum MQ = MN + OP bewegt wird. Wirkten mehr als zwei Kräfte nach einerlei Richtung ein, so würde das Resultat der Summe von allen gleich seyn.

II. Der bewegliche Punkt B werde von der Kraft BA nach A, und von der ihr gerade entgegengesetzt wirkenden Kraft BC, welche so groß, wie BA ist, nach C getrieben: so wird durchaus keine Bewegung erfolgen, und der Punkt B bleibt in Ruhe; da es aus der Natur der Sache folgt, daß sich zwei gleiche, nach entgegengesetzten Richtungen wirkende Kräfte vollkommen zernichten, und somit gänzlich aufheben. Würde aber das Bewegliche E (Fig. 67.) durch die Kraft ED nach D und durch die größere Kraft EF nach F getrieben: so ist klar, daß ein Theil der Kraft EF, nämlich EM = ED, die Kraft ED durchaus aufheben wird, und daß hierdurch die Kraft MF als Ueberschuß bleibt. Hieraus entsteht die Regel: Wenn entgegengesetzt wirkende Kräfte ungleich sind, so geschieht die Bewegung nach der Richtung der stärker wirkenden Kraft mit dem Unterschiede beider Kräfte.

III. Nun werde der bewegliche Punkt BC (Fig. 68.) von den Kräften BA und BC zugleich afficirt, welche in ihren Richtungen weder vollkommen übereinstimmend, noch gerade entgegengesetzt sind: so ist klar, daß derselbe weder nach A noch nach C, sondern nach irgend einer in der Winkelfläche ABC liegenden Zwischenrichtung bewegt werden müsse. Um dieselbe zu finden, bemerke man Folgendes: Wirkte die Kraft BA allein auf den Punkt B, so müßte er in einer Secunde den Raum BA beschreiben. Wenn nun im Punkte A die Kraft BA durchaus erloschen wäre, und

nun die Kraft BC in der mit BC parallelen Richtung AD auf ihn einwirkte: so müßte er in der zweiten Secunde den Raum AD zurücklegen, und hätte so in zwei Secunden den Weg BAD beschrieben. Wirkte die Kraft BC zuerst, und dann, nach gänzlicher Erlöschung derselben in C, die Kraft BA in der mit BA parallelen Richtung CD auf den nunmehr in C befindlichen Punkt B: so müßte er ebenfalls in zwei Secunden den Weg BCD durchlaufen. Da nun beide Kräfte BA und BC nicht nach einander, sondern zugleich auf den Punkt B wirken, so muß er die Mittellinie BD beschreiben. Hieraus geht folgender Satz hervor: Wenn zwei Kräfte dergestalt auf ein Bewegliches wirken, daß sie unter einem Winkel zusammenstimmen: so findet man die aus ihrer Zusammenwirkung hervorgehende mittlere Kraft nach ihrer Richtung und Größe, wenn man um die gegebenen Kräfte, als Seitenlinien, ein Parallelogramm beschreibt und in demselben die Diagonale zieht. Man nennt die zwei gegebenen Kräfte die äußern, die Diagonale aber die mittlere Kraft, das auf diese Weise construirte Parallelogramm das Parallelogramm der Kräfte, und diese ganze Lehre die Lehre von der Zusammensetzung der Kräfte.

IV. Der so eben angeführte Hauptsatz läßt sich auch auf folgende Weise entwickeln. Wenn sich (Fig. 69.) die Linie BA mit dem unveränderlich bleibenden Winkel ABD von B gegen D bewegt, so beschreibt sie das Parallelogramm ABDC. Nimmt man nun an, der Punkt A bewege sich in derselbigen Zeit mit gleichförmiger Bewegung auf AB nach B, in welcher die ganze Linie BA gleichförmig von B nach D schreitet, so muß dieser Punkt A die Diagonallinie AD durchlaufen. Denn da BA in die Lagen EK, FL, HM, kömmt, worin BE = EF = FH = HD ist: so verhalten sich auch die Stücke KN, LO, MR, CD, desgleichen HR, FO, EN, BA, wie die Zahlen 1, 2, 3, 4. Nun ist es aber, in Bezug auf die Bewegung

des Punkts A, durchaus einerlei, ob sich BA von B nach D, oder AB von A nach C auf gleiche Weise bewegt. Daher kann man sagen, die Bewegung des Punkts A von A nach D sey aus den beiden Bewegungen von A nach B und von B nach D, oder auch aus den beiden Bewegungen von A nach B und von A nach C zusammengesetzt.

V. Die Anwendung dieser Lehre soll nun an einigen Beispielen erläutert werden:

a) Wenn an einem, auf dem Boden liegenden Steine zwei Seile befestigt sind, welche nach verschiedenen Richtungen von demselben auslaufen, und nach jeder dieser Richtungen eine Kraft wirksam ist: so wird derselbe weder der einen, noch der andern allein folgen, sondern nach einer mittlern Richtung fortschreiten. Sind die Kräfte einander gleich, so ist diese Richtung genau die mittlere; sind sie ungleich, so neigt sie sich mehr nach der stärker wirkenden Kraft hin.

b) Ein Schiff, welches von der Kraft des Stromes und von dem seitwärts auf seine Segel einwirkenden Winde zugleich getrieben wird, folgt weder allein der Richtung des Stromes, noch jener des Windes; sondern erhält eine verhältnißmäßig mittlere Bewegung.

c) Wer aus einem schnellfahrenden Wagen zur Seite herausspringt, wird, ohne die nöthige Vorsicht, jene Setlle nicht erreichen, die er beabsichtigt. Sein Körper wird von der bewegenden Kraft des Wagens und von seiner Sprungkraft zugleich afficirt; so, daß eine mittlere Richtung das Resultat von beiden ist.

d) Wenn man von der Spitze des Mastbaums eines stromabwärts schwimmenden Schiffes einen Stein frei herabfallen läßt: so wird derselbe, obwohl das Schiff während seines Falles fortschreitet, dennoch immer längs desselben herabfallen, und nicht nach dem Hintertheile zu eintreffen. Er wird nämlich sowohl von der Schwerkraft, als auch von der Bewegkraft des Schiffs getrieben, aus deren Zusammenwirkung eine mittlere (krummlinige) Bewegung hervorgeht.

e) Wenn zwei Menschen in einem stromabwärts fahrenden Schiffe einander gegenüber sitzen, und sich wechselseitig einen Ball zuwerfen: so wird die Richtung desselben jedem, welcher sich in dem Schiffe befindet, geradlinig zu seyn scheinen. Jeder andere aber, welcher nicht an der Bewegung des Schiffes Theil nimmt, wird die Bahn dieses Balls krummlinig, wie sie es wirklich ist, erkennen. Man sieht leicht, daß dieser Ball, von der Wurfkraft und von der Bewegkraft des Schiffes zugleich getrieben, diese krummlinige Bahn beschreiben müsse.

§. 2.

Auflösung der Kräfte und fernere Folgerungen aus ihrer Zusammenwirkung.

I. Eine gegebene Kraft in zwei andere auflösen, heißt: anstatt derselben zwei andere finden, welche in ihrer Zusammenwirkung gerade das Nämliche bewirken, was diese einzige Kraft ebenfalls hervorbringt. Es sey z. B. MN (Fig. 70.) die gegebene Kraft, welche von M nach N wirksam ist. Beschreibt man um dieselbe das Parallelogramm MANB, so kann man, anstatt der einen Kraft MN, die zwei Kräfte MA und MB setzen. Da um die Linie MN unzählig vielerlei Parallelogramme möglich sind, so kann auch die Kraft MN auf unzählig vielerlei Arten in zwei äußere zerlegt werden.

II. Da die Diagonale MN kleiner ist, als MA und AN zusammen: so muß auch NM kleiner seyn, als AM und MB zusammengenommen; d. h. die mittlere Kraft ist jedesmal kleiner als die Summe der beiden äußern Kräfte. Dieses folgt auch aus der Natur der Sache: da die Kräfte MA und MB, obwohl nicht einen vollkommenen, doch wohl zum Theil einen Gegensatz bilden, und daher eine durch die andere einige Verminderung erleidet.

III. Wenn die Größe der Kräfte MA und MB unverändert bleibt, aber der Winkel AMB größer

wird: so ist klar, daß auch der Gegensatz beider Kräfte vermehrt werde, woraus eine Verminderung des Resultates, d. h. der mittlern Kraft entstehen muß. Auch stimmt hiermit die Zeichnung überein, denn bei dem stumpfer werdenden Winkel AMB wird auch die Diagonale MN verkleinert.

Wenn aber umgekehrt, bei denselbigen Kräften MA und MB, der Winkel ihrer Zusammenstimmung kleiner wird: so muß, wegen der größern Uebereinstimmung derselben in ihren Richtungen, auch das mittlere Resultat größer werden. Dieses lehrt ebenfalls die Zeichnung wieder.

Auch schließen sich die beiden Extreme an diese Betrachtungen an. Wird nämlich der Winkel AMB $= 180^\circ$, so tritt der volle Gegensatz beider Kräfte ein, und das Resultat ist ihrer Differenz gleich. Wird aber der Winkel AMB $= 0$, so stimmen die Kräfte genau in der Richtung zusammen, und die Wirkung ist ihrer Summe gleich.

IV. Wenn der bewegliche Punkt A (Fig. 71.) von den drei Kräften AB, AC und AD afficirt wird: so construire man zuerst zu AB und AC das Parallelogramm ABEC, um die Diagonale AE zu finden, welche das Resultat dieser beiden ist. Wird nun zu AE und AD das Parallelogramm AEFD gebildet und die Diagonale AF gezogen: so ist diese das Resultat der drei auf den Punkt zusammenwirkenden Kräfte AB, AC und AD.

Sollte eine gegebene Kraft AF in drei äußere aufgelöst werden, so könnte man um AF zuerst das Parallelogramm AEFD und sodann wieder um AE das Parallelogramm ABEC beschreiben; wodurch die Kraft AF in die drei äußern Kräfte AB, AC und AD aufgelöst wäre.

V. Würde der Punkt A (Fig. 72.) von vier Kräften AH, AF, AD und AE afficirt: so ist klar, daß die Kräfte AH und AF einerlei sind mit der Diagonalkraft AB; die Kräfte AD und AE aber einerlei mit der Diagonalkraft AC. Wenn man daher zu den Kräften AB und AC nunmehr die mittlere AM findet,

so ist diese das Resultat der vier zusammenwirkenden Kräfte AH, AF, AD und AE.

Auf ähnliche Art kann man auch die gegebene Kraft AM durch Construktion der Parallelogramme ABMC, AHBF und ADCE in vier äußere, welche ihr zusammenwirkend gleich sind, auflösen.

VI. Wenn (Fig 73.) die Kraft BC unter dem spitzen Winkel BCM gegen die Ebene MN wirkt, und man soll die Stärke bestimmen, womit diese Wirkung geschieht: so errichte man in C das Loth CR = CB, fälle von B das Loth BE auf MC, und BD auf CR. Hierdurch wird die Kraft BC in BE und BD zerlegt, wovon jene auf MN senkrecht, diese aber mit ihr gleichlaufend und somit unwirksam gegen sie ist. Daher drückt das Loth BE den wirksamen Antheil der Kraft BC aus. Wirkte dieselbe mit gleicher Stärke unter dem noch kleinern Winkel FCM ein, so könnte sie in FL und FH aufgelöst werden; FL wäre der unwirksame, FH aber der wirksame Antheil von ihr. Nach der senkrechten Richtung RC wird dieselbe durchaus keine Verminderung erleiden. Hieraus geht das allgemeine Gesetz hervor: Wenn Kräfte schief wirken, so erleiden sie eine Verminderung ihrer Stärke; welche um so größer ist, je kleiner der Winkel wird, unter welchem sie ihre Wirkung äußern. Der wirksame Theil solcher schief wirkenden Kräfte ist aber jedesmal dem gehörig gezogenen Lothe gleich.

VII. Aus diesem Gesetze lassen sich viele Erscheinungen erklären. Soll z. B. der Wind auf die Segel des Schiffes, oder auf die Flügel der Mühle die größte Wirkung äußern, so muß die Richtung des Luftstroms eine senkrechte auf diese Flächen seyn. Ein allmählich schiefer wirkender Luftstrom wird auch die bewegende Kraft stufenmäßig vermindern.

Wenn die Richtung, nach welcher die aus dem Schießgewehre geschleuderte Kugel die Ebene trifft, auf ihr senkrecht steht, so wird der Schuß die größte Stärke haben. Bei schiefern Richtungen wird auch seine Kraft stufenmäßig vermindert, und kann so ge-

ringe werden, daß die unter sehr spitzem Winkel auf eine Wasserfläche abgeschossene Kugel nicht in dasselbige eindringt, sondern von ihr zurückprallt.

Im Allgemeinen entsteht hieraus die Lehre: daß man jede Kraft, sey es Gewicht oder Wasser, oder Wind oder Muskelkraft, wenn sie die größte Wirkung hervorbringen soll, senkrecht auf das zu Bewegende müsse einwirken lassen.

§. 3.

Kurze Darstellung der Lehre von der Wurfbewegung.

I. Aus der Zusammenwirkung der bisher betrachteten Kräfte entstand jedes Mal eine geradlinige Bahn, da diese Kräfte gleichförmig auf das Bewegliche einwirkten. Wenn aber ein beweglicher Punkt von zwei Kräften zugleich getrieben wird, von welchen die eine gleichförmig, die andere aber ungleichförmig beschleunigt auf ihn wirkt: so wird das Resultat eine krummlinige Bewegung seyn. Ein nach schiefer Richtung geworfener Stein erläutert dieses, da ihn die Wurfkraft gleichförmig, die Schwere aber gleichförmig beschleunigend afficirt. Seine Bahn wird daher, der Erfahrung zufolge, eine krummlinige. Das Gesetz dieser krummen Linie kann folgendermaßen bestimmt werden. Der Punkt A (Fig. 74.) werde nach der Richtung AE von der gleichförmig wirkenden Kraft AB so getrieben, daß die Räume AB = BC = CD in gleichen Zeiten zurückgelegt würden; zugleich wirke auch die Schwerkraft nach der Richtung AK, und nach dem bekannten Verhältnisse der Räume AF = 1, FH = 3, HK = 5 auf denselben: so ist klar, daß in der ersten Secunde die Diagonale AL des zu bildenden Parallelogramms ABLF das Resultat dieser Zusammenwirkung sey. Für die zweite Secunde sind LM = BC und LN = FH die wirksamen Kräfte,

woraus die Diagonale LO hervorgeht. In der dritten Secunde wirken die Kräfte OP = CD und OQ = HK, woraus die Diagonale OR entspringt. Daher ist ALOR die Bahn des Punktes A in den ersten drei Secunden. Diese Bahn kann aber keine geradlinige seyn. Denn wäre ALOR eine gerade Linie, so wären auch die Dreyecke AFL, AHO, AKR einander ähnlich, und es müßte sich FL zu HO zu KR verhalten, wie sich AF zu AH zu AK verhält. Allein FL : HO : KR = 1 : 2 : 3, und AF : AH : AK = 1 : 4 : 9. Da nun sowohl die Kraft AE, als auch die Schwerkraft AK nicht blos von Secunde zu Secunde, sondern stetig d. h. ununterbrochen auf das Bewegliche wirkt: so ist auch dessen Bahn keine Winkellinie, wie ALOR, sondern sie muß eine durchaus krumme Linie seyn, deren hohle Seite gegen K, und die erhabene Seite gegen D gerichtet ist. Aus dem so eben bewiesenen Verhältnisse FL : HO : KR = 1 : 2 : 3, und aus dem andern AF : AH : AK = 1 : 4 : 9 folget: daß sich diese Linien wie die Quadrate von jenen verhalten. Da nun, wie die höhere Geometrie lehrt, dieses Gesetz die Parabel bestimmt, so muß die Bahn ALOR eine parabolische seyn.

II. Die Betrachtung der Parabel gehört der höhern Geometrie an. Um aber den Anfängern, welchen gegenwärtiges Lehrbuch bestimmt ist, wenigstens einige historische Kenntnisse dieser krummen Linie beizubringen, soll hier etwas Weniges von den Kegelschnitten bemerkt werden. Es sey ABC (Fig. 75.) ein senkrechter Kegel, BMNCIK dessen Grundfläche, und E ein in dessen Seite AC willkührlich genommener Punkt. Legt man durch ihn eine Ebene ED mit der Grundfläche CB gleichlaufend, so lehrt die Elementar-Geometrie, daß der Durchschnitt ein Kreis sey. Geschieht aber dieser Durchschnitt nach der schiefen Richtung EF, welche auch die andere Seite AB in F schneidet, so bildet dieser Schnitt die Ellipse. Geschieht der Schnitt nach EH mit AB gleichlaufend,

so entsteht die Parabel KEM. Wird endlich dieser Schnitt nach EL lothrecht auf der Grundfläche BC genommen, so erzeugt sich die Hyperbel IEN. Aus dieser Entstehung der Kegelschnitte folget: daß zwischen dem Kreise ED und der Parabel KEM unzählig vielerlei Ellipsen möglich sind; welche sich gegen ED hin immer mehr dem Kreise, gegen EH aber immer mehr der Parabel annähern. Diese Ellipsen haben, wie man leicht erkennt, zwei verschiedene Hauptdurchmesser, wovon man einen die große, den andern die kleine Achse nennt. Sie werden sich immer mehr und mehr vom Kreise entfernen, d. h. länger und schmäler werden, je kleiner der Winkel FEH wird. Fällt der Durchschnitt EF in EH, so wird aus der Ellipse eine Parabel, deren beide Hälften EK und EM sich immer mehr und mehr von einander entfernen, und somit niemals einen Wiedervereinigungs-Punkt finden. Eben dieses gilt auch von den beiden Hälften der Hyperbel; nämlich von EI und EN, welche ebenfalls immer weiter aus einander treten. Man kann aus dieser Entstehung der Parabel beweisen, daß ihre Natur durch das in voriger Nummer bestimmte Verhältniß ausgedrückt werde.

III. Würde der schwere Punkt A (Fig. 74) nach einer andern schiefen Richtung bewegt, so läßt sich auf ähnliche Weise zeigen daß seine Bahn eine parabolische ist. Daher beschreibt jeder nach irgend einer schiefen Richtung geworfene Stein, während seines Fluges durch die Luft, eine parabolische Linie; welche jedoch, durch den störenden Widerstand dieser Luft, etwas weniges von diesem Gesetze abweicht. Desgleichen bildet der schief aufsteigende Wasserstrahl, so wie das Wasser, welches aus schiefen Dachrinnen herabfällt, eine sichtbare parabolische Bahn. Besonders wichtig ist die Anwendung dieser Lehre in der Artillerie oder Geschützkunde; weil es hier darauf ankömmt, die parabolische Bahn der, aus der Mündung der Kanone geschleuderten Kugel zu bestimmen, um hierdurch die Weite des Schusses angeben zu können. Hier aber konnten nur die ersten Grundbegriffe und Grundlehren entwickelt werden.

Fünftes Kapitel.

Gesetze der Centralbewegung überhaupt, und der kreisförmigen insbesondere.

Die Lehre von der Centralbewegung ist eine der wichtigsten für die Theorie und für praktische Anwendungen. Dieses Kapitel kann nur die ersten Elemente davon entwickeln. Nach den nöthigen Vorbegriffen wird das allgemeine Gesetz der Centralbewegung abgeleitet, und dessen Anwendung auf kreisförmige Bahnen gezeigt. Sodann wird die Möglichkeit anderer krummliniger Bahnen nachgewiesen, und den Schluß macht eine Darstellung der wichtigsten Sätze von der Centralbewegung im Kreise.

§. 1.

Vorbegriffe. Allgemeines Gesetz der Centralbewegung. Entstehung der Kreisbewegung.

I. Es werde der bewegliche Punkt A (Fig. 76.) von der Kraft = AB gegen D, und von der Kraft = AE nach C getrieben: so ist bekannt, daß AF als die Diagonale des zu bildenden Parallelogramms ABFE, das Resultat beider Kräfte in der ersten Secunde sey. Nimmt man nun an, daß in F keine neue Kraft auf das Bewegliche einwirke, so wird dennoch keine Ruhe erfolgen; sondern der Punkt A würde, nach dem Gesetze des Beharrungsvermögens, in der verlängerten Richtung AF sich so fortbewegen, daß FK = AF der Raum in der zweiten Secunde wäre. Wirkte aber in F die nämliche Kraft gegen C, welche in A gewirkt hatte: so müßte, wenn FH = AE das Maaß dieser Kraft wäre, der Punkt F, von den zwei Kräften FK und FH getrieben, die Diagonale

FL in der zweiten Secunde beschreiben. Wirkte für die dritte Secunde keine neue Kraft auf den Punkt L, so müßte derselbe nach der Verlängerung von FL so fortschreiten, daß LM = FL wäre. Wenn aber in L wiederum eine Kraft LN = FH = AE gegen den Punkt C wirkt, so ist die Diagonale LP des zu beschreibenden Parallelogramms LMPN die Bahn in der dritten Secunde. Hieraus folgt: daß, wenn beide Kräfte von Secunde zu Secunde sich wiederholend einwirkten, die Winkellinie AFLP die beschriebene Bahn des Punkts A sey. Wirkte aber auf diesen Punkt A die Kraft nach C ununterbrochen oder stetig ein, so erkennt man leicht: daß die Winkellinie verschwinden, und aus ihr eine krumme Linie wie AFLP (Fig. 77.) sich bilden müsse.

II. Auf die Entstehung dieser krummlinigen Bahn gründen sich nachfolgende Erklärungen. Man nennt die Kraft AB, oder FK, oder LM (Fig. 76.) welche das Bewegliche vom Punkte C zu entfernen sucht, die Fliehkraft, oder die Centrifugalkraft; die Kraft AE oder FH, oder LN aber, welche dieses Bewegliche immerwährend nach dem festen Punkte C zu bewegen strebt, die Ziehkraft oder Centripetalkraft. Der Punkt C heißt Mittelpunkt der Kräfte; jede der Linien CA, CF, CL, CP, welche vom Mittelpunkt der Kräfte nach dem beweglichen Punkte gezogen werden, der Leitfaden oder Radius Vector; und die Bewegung, welche aus beiden Kräften hervorgeht, die Centralbewegung. Man kann dieselbe an der bekannten Wirkung der Schleuder einfach erläutern; wobei die Kraft, mit welcher der Stein hinwegfliegt, die Fliehkraft; die Stärke des Fadens und der Widerstand der Hand, die Ziehkraft; die Länge des Fadens den Radius Vector bedeutet.

III. Das allgemeine Gesetz für jede Centralbewegung kann folgender Gestalt gefunden werden. Da in den Dreiecken AFC und KFC (Fig. 76.) die Grundlinie AF = FK, und C ihre gemeinsame Spitze ist, so haben diese Dreiecke einerlei Flächeninhalt. Wird

nun die Linie CK gezogen: so haben auch die Dreiecke KFC, und LFC dieselbige Grundlinie FC, und auch, weil KL mit FC gleichlaufend ist, die Höhe gemein. Daher sind auch diese am Inhalte gleich. Hieraus folgt: daß die Dreiecke AFC und CFL ebenfalls gleiche Fläche haben.

Auf ähnliche Weise hat das Dreieck FLC mit dem Dreiecke MLC die Grundlinie und die Höhe, somit auch den Flächeninhalt gemein. Zieht man die CM, so muß aus gleichem Grunde das Dreieck CLM dem Dreiecke CLP gleich an Fläche seyn. Daher ist bewiesen: da ßdie Flächenräume CAF, CFL und CLP, welche vom beweglichen Punkte A in gleichen Zeiten beschrieben werden, einander gleich seyen. Da derselbige Beweis auf andere Zeiten und auf die in ihnen beschriebenen Flächenräume angewendet werden kann, so ist hierdurch folgendes allgemeine Gesetz bewiesen:

Bei jeder Centralbewegung stehen die vom Radius Vector beschriebenen Flächenräume im geraden Verhältnisse jener Zeiten, in welchen sie beschrieben worden sind.

IV. Es sey aus dem Punkte C (Fig. 78.) mit dem willkührlichen Halbmesser CA ein Kreis beschrieben. Man nehme den Bogen AD sehr klein, ziehe CD, verlängere sie, bis das aus A auf AC errichtete Loth sie in B schneidet, und ziehe auch von D auf AC das Loth DE: so kann man ABDE ohne merkbaren Fehler für ein Parallelogramm halten, worin BD = AE und AD die Diagonale ist. Wenn nun auf den Punkt A die Kraft AB wirkte, so hätte sich derselbe, nach der ersten Secunde, in B um die Linie BD vom Centrum C entfernt. Würde dieser Punkt A während dieser Zeit mit einer Kraft AE = BD gegen dieses Centrum gezogen: so ist klar, daß diese Ziehkraft die Wirkungen jener Fliehkraft aufheben, und daß somit der Punkt A den Kreisbogen AD beschreiben werde. Wirkte nun in D keine Ziehkraft nach C, so würde der bewegliche Punkt nach der Tangente DF fortschreiten; und er hätte sich am Ende

der zweiten Secunde, wenn FC gezogen wird, um das Stückchen FN vom Mittelpunkte entfernt. Zieht man aber NO lothrecht auf DC, und nimmt an, daß in D wiederum die Ziehkraft DO = FN auf ihn einwirkte: so muß derselbe in der zweiten Zeit auch wieder den Kreisbogen DN beschreiben. Hieraus folgt: daß sich der bewegliche Punkt A in einem Kreise um C bewegen müsse, wenn die beiden Centralkräfte, welche diese Bewegung bewirken, einander gleich sind. Daher ist folgendes Gesetz bewiesen:

Wenn zwei Centralkräfte mit gleicher Stärke auf einen beweglichen Punkt wirken, so muß derselbe eine kreisförmige Bahn um jenen Punkt beschreiben, nach welchem die Wirkung der Ziehkraft gerichtet ist.

Da nämlich jeder Punkt im Kreise sich dem Mittelpunkte weder annähert noch von demselben entfernt, so ist einleuchtend, daß zwei Kräfte, von welchen die eine diesen Punkt mit jener Stärke anzieht, womit die andere ihn davon zu entfernen strebt, diesen Punkt im Kreise bewegen müssen.

V. Aus dieser Entwickelung folgt auch: daß, wenn die beiden gleichen Centralkräfte als einmal vorhanden gesetzt werden, die aus ihrer Wechselwirkung hervorgehende Kreisbewegung ohne Ende fortwähren müsse; weil nichts ist, was einer von ihnen geradezu entgegenwirkt. Beide Kräfte, ohne Aufhören wirksam, beschränken sich zwar gegenseitig; allein aus dieser Beschränkung geht eine neue Kraft hervor, welche ebenfalls ohne Ende fortwirkt.

Aber diese Kräfte können an Intensität ihrer Wirkungen verschieden seyn. Ein größeres Maaß von Intensität bewirkt eine schnellere; ein geringeres Maaß aber eine langsamere Kreisbewegung. Daher wird z. B. bei ihrer doppelten Stärke dieselbige Kreislinie mit doppelter Geschwindigkeit vom beweglichen Punkte zurückgelegt werden, u. s. w.

§. 2.

Möglichkeit anderer Bahnen. Gleichförmigkeit und Ungleichförmigkeit der Bewegungen.

I. Wenn die beiden Centralkräfte mit ungleichem Maaße von Kraft zusammenwirken, so kann auch das Resultat keine kreisförmige Bewegung seyn. Entweder wirkt hier die Fliehkraft über die Ziehkraft, oder diese über jene vorherrschend. Im ersten Falle wird sich der bewegliche Punkt in einer Curve bewegen, welche die Kreisbahn überschreitet; in diesem aber muß dieselbe innerhalb des Kreises liegen, welcher aus der gleichen Wechselwirkung dieser Kräfte entspringen würde. Da sich nun die Kräfte, als stetige Größen, ohne Ende vergrößert und verkleinert denken lassen: so gibt es ein unendlich verschiedenes Wechselverhältniß derselben, deren jedes einer besondern krummlinigen Bahn entsprechend ist. Die Untersuchung dieser krummlinigen Bahnen setzt tiefere mathematische Vorkenntnisse voraus. Daher kann hier nur die einfachste Art der Centralbewegungen, d. h. die Centralbewegung im Kreise näher betrachtet werden.

II. Daß jede Centralbewegung im Kreise eine gleichförmige seyn müsse, läßt sich aus dem allgemeinen Gesetze für die Centralbewegung überhaupt leicht nachweisen. Es sey C das Centrum der Kräfte (Fig. 79.); A der bewegliche Punkt, welcher, durch zwei gleiche Centralkräfte getrieben, den Kreis ABGDEA beschreibt. Nimmt man Bog. AB = Bog. BG = Bog. CD, und zieht die Radien CA, CB, CG, CD; so sind die Sectoren ACB, BCG, GCD gleich am Flächeninhalte. Da sich nun die Zeit der Bewegung von A nach B zur Zeit der Bewegung von B nach G, und zur Zeit der Bewegung von G nach D verhält, wie sich die vom Radius Vector zurückgelegten Flächenräume ACB, BCG und GCD verhalten; diese Flächen aber einander gleich sind: so muß auch die Zeit der Bewegung von A nach B jener von B nach G, und jener von G nach D gleich seyn, d. h.

der bewegliche Punkt A wird den Bogen ABGD gleichförmig durchlaufen, und somit auch den ganzen Kreis. Denn es verhält sich auch der Sector GCD zum Sector DCE, wie der Bogen GD zum Bogen DE. Daher werden auch diese Bogen in Zeiten beschrieben, welche ihnen selbst proportional sind, und die Bewegung durch GDE muß wiederum eine gleichförmige seyn, u. s. f.

III. Wenn die Ziehkraft verhältnißmäßig stärker, als die Fliehkraft wirkte, so würde die krumme Linie ABDEF (Fig. 80.) die Bahn des Punktes A bezeichnen können; und nach dem allgemeinen Gesetze müßten die Flächenräume ACB, BCD, DCE einander gleich seyn: wenn das Bewegliche in gleichen Zeiten fortschritte, und in diesen Zeiten die Räume AB, BD, DE beschriebe. Da nun die Punkte B, D, E, dem Punkte C, in der genannten Ordnung, immer näher kommen: so ist klar, daß die Bogen AB, BD, DE, *in* gleichem Verhältnisse immer größer werden müssen, um den nämlichen Flächenraum bilden zu können. Daher werden hier in gleichen Zeiten immer größere Räume zurückgelegt, d. h. die Bewegung wird eine beschleunigte seyn.

IV. Entstände aber die krumme Bahn ABDEF (Fig. 81.) durch zwei Centralkräfte, bei welchen die Fliehkraft über die Ziehkraft vorherrschte: so müßten auch hier, für gleiche Zeiten der Bewegung, die Flächenräume ACB, BDC, DCE einander gleich seyn. Da aber die Punkte B, D und E sich immer mehr vom Punkte entfernen: so müssen die Bogen AB, BD und DE in genannter Ordnung immer kleiner werden. Daher werden hier in gleichen Zeiten immer kleinere Räume beschrieben, und die Bewegung ist eine verminderte.

V. Da sich bei gleichen Dreiecken die Grundlinien umgekehrt wie ihre Höhen verhalten, so verhält sich in den Dreiecken AFC (Fig. 76.) und FLC die Grundlinie AF zur Grundlinie FL, wie sich das von C auf FL gezogene Loth zu dem von C auf AF gezogenen Lothe verhält; woraus folgender, für jede Centralbewegung gültige Satz hervorgeht:

Die

Die Geschwindigkeiten eines in der Centralbewegung begriffenen Punktes in verschiedenen Stellen seiner Bahn stehen im umgekehrten Verhältnisse der Lothe, welche aus dem Mittelpunkt der Kräfte auf die Tangenten durch jene Stellen gezogen werden können.

Die Grundlinien AF und FL stellen nämlich, wie bekannt, die Geschwindigkeiten des bewegten Punktes vor.

§. 3.

Die wichtigsten Sätze von den kreisförmigen Centralbewegungen.

I. Wenn sich zwei bewegliche Punkte in Kreisen von verschiedenen Halbmessern, durch Centralkräfte getrieben, umherbewegen: so verhalten sich ihre Umlaufszeiten, wie die Quotienten aus ihren Halbmessern durch ihre Geschwindigkeiten dividirt.

Die Umfänge beider Kreise seyen P und p, ihre Halbmesser R und r, ihre Geschwindigkeiten C und c, und ihre Umlaufszeiten T und t: so ist nach den bekannten Gesetzen von der Geschwindigkeit, $P = C \times T$, und $p = c \times t$. Daraus folgt

$P : p = C \times T : c \times t$. Da aber
$P : p = R : r$, so ist auch
$R : r = C \times T : c \times t$, oder

$$T : t = \frac{R}{C} : \frac{r.}{c}$$

Sollte das Verhältniß $T : t$ durch Produkte ausgedrückt werden, so entstände hieraus die Proportion:

$$T : t = R \times c : r \times C,$$

welche man leicht mit Worten ausdrücken kann.

II. Bei kreisförmigen Centralbewegungen verhalten sich die Geschwindigkeiten,

wie die Quotienten aus den Halbmessern dividirt durch die Umlaufszeiten.

Denn aus der vorigen Proportion (in I.) folget unmittelbar diese:

$C : c = \frac{R}{T} : \frac{r}{t}$, welche man auch leicht durch Produkte ausdrücken kann. Es ist nämlich $C : c = R \times t : r \times T$.

III. Bei kreisförmigen Centralbewegungen stehen die Halbmesser im zusammengesetzten Verhältnisse aus dem Geraden der Geschwindigkeiten und der Umlaufszeiten.

Die Richtigkeit dieses Satzes folget unmittelbar aus der oben (in I.) erwiesenen Proportion, nach welcher $R : r = C \times T : c \times t$ ist.

IV. Nun sey C (Fig. 82.) der Mittelpunkt des, mit dem Halbmesser CA beschriebenen Kreises, und ACE dessen Durchmesser. Denkt man sich unter AG einen unendlich kleinen Bogen dieses Kreises, welcher in einem Momente der Zeit beschrieben wird, und zieht aus G das Loth GD auf AE, dann die gerade Linie EGB bis das, aus A auf EA errichtete Loth AB sie in B schneidet: so ist ABGD als Parallelogram, und der Bogen AG als dessen Diagonale zu betrachten. Auch stellt AD die Centripetalkraft und BG, so groß wie AD, die Centrifugalkraft vor. Nun sind die Dreiecke ADG und AGE einander ähnlich; daher ist $AD : AG = AG : AE$, woraus $AD = \frac{AG^2}{AE}$; wobei AD die Größe der wirksamen Centralkräfte, AG den in der unendlich kleinen Zeit beschriebenen Raum, d. h. die Geschwindigkeit des Punktes A, und AE den doppelten Radius Vector vorstellt. Benennt man AD mit V, AG mit C, und AE mit D, so wird $V = \frac{C^2}{D}$; und es ist folgender Satz bewiesen:

Bei Centralbewegungen im Kreise wird die Größe der Centralkräfte gefunden, wenn man das Quadrat der Geschwindigkeit des bewegten Punktes durch den Durchmesser des Kreises dividirt.

V. Wenn ungleiche Kreise von den beweglichen Punkten in gleichen Zeiten durchlaufen werden: so stehen die Größen der Centralkräfte im geraden Verhältnisse ihrer Durchmesser, oder auch ihrer Halbmesser.

Wenn für den einen Punkt die Buchstaben V, C und D die Bedeutung von IV und für den andern die Buchstaben v, c und d eben dieses bedeuten, so ist

$$V = \frac{C^2}{D} \text{ und } v = \frac{c^2}{d}\text{; folglich}$$

$$V : v = \frac{C^2}{D} : \frac{c^2}{d}\text{, oder}$$

$$V \times D : v \times d = C^2 : c^2$$

Wenn nun die Umlaufszeiten einander gleich sind, so müssen sich die Geschwindigkeiten beider Punkte gerade wie die Peripherien der Kreise verhalten, d. h. es muß $C : c = P : p$ seyn, (wo P und p diese Peripherien bedeuten.) Da aber $P : p = D : d$, so muß auch $C : c = D : d$ oder $C^2 : c^2 = D^2 : d^2$ seyn. Nun war aber $C^2 : c^2 = V \times D : v \times d$; folglich ist $V \times D : v \times d = D^2 : d^2$, d. h.

$$V : v = \frac{D^2}{D} : \frac{d^2}{d} = D : d\text{; oder auch}$$

$V : v = R : r$, wenn R und r die Halbmesser der beiden Kreise sind.

VI. Wenn gleiche Kreise mit ungleichen Geschwindigkeiten beschrieben werden: so stehen die Centralkräfte in geradem Verhältnisse der Quadrate dieser Geschwindigkeiten.

Denn nun wird in der Proportion (von V.) $V : v = \frac{C^2}{D} : \frac{c^2}{d}$ die Größe $D = d$; folglich ist $V : v = C^2 : c^2$.

VII. Wenn ungleiche Kreisbahnen mit gleicher Geschwindigkeit beschrieben werden: so stehen die Centralkräfte im umgekehrten Verhältnisse der Halbmesser dieser Kreise.

Denn hier wird in der bekannten Proportion $V : v = \frac{C^2}{D} : \frac{c^2}{d}$ die Größe $C^2 = c^2$; folglich auch

$V : v = \frac{1}{D} : \frac{1}{d}$, oder $V : v = d : D$, oder auch $V : v = r : R$.

VIII. Wenn ungleiche Kreise in ungleichen Zeiten durchlaufen werden: so stehen die Centralkräfte in zusammengesetztem Verhältnisse aus dem Geraden der Durchmesser dieser Kreise in das Umgekehrte der Quadrate ihrer Umlaufszeiten.

Aus der bekannten Proportion $V : v = \frac{C^2}{D} : \frac{c^2}{d}$ folgt auch diese: $C^2 : c^2 = V \times D : v \times d$.

Nun seyen T und t die Umlaufszeiten, und π die Ludolphische Zahl 3,1415 . . . .
so ist, nach einem frühern Satze von der Geschwindigkeit,

$$C = \frac{\pi \times D}{T} \text{ und } c = \frac{\pi \times d}{t}; \text{ folglich}$$

$$C^2 = \frac{\pi^2 \times D^2}{T^2} \text{ und } c^2 = \frac{\pi^2 \times d^2}{t^2}. \text{ Daher ist}$$

$$\frac{\pi^2 \times D^2}{T^2} : \frac{\pi^2 \times d^2}{t^2} = C^2 : c^2 = V \times D : v \times d, \text{ oder}$$

$$\frac{D^2}{T^2} : \frac{d^2}{t^2} = V \times D : v \times d; \text{ d. h.}$$

$\frac{D^2}{T^2 \times D} : \frac{d^2}{t^2 \times d} = V : v$, oder

$V : v = \frac{D}{T^2} : \frac{d}{t^2}$; und endlich

$V : v = D \times t^2 : d \times T^2$

IX. **Wenn sich die Quadrate der Umlaufszeiten zweier im Kreise bewegten Körper wie die Würfel der Halbmesser dieser Kreise verhalten, so stehen die Centralkräfte in umgekehrtem Verhältnisse der Quadrate eben dieser Kreise.**

Aus der Proportion (von VIII.)

$V : v = D \times t^2 : d \times T^2$ folget diese:

$\frac{V}{D} : \frac{v}{d} = t^2 : T^2$, oder auch folgende:

$\frac{V}{R} : \frac{v}{r} = t^2 : T^2$, wo R und r die Halbmesser bedeuten. Da nun nach der Voraussetzung, $t^2 : T^2 = r^3 \times R^3$ ist: so wird auch $\frac{V}{R} : \frac{v}{r} = r^3 : R^3$, oder $V : v = R \times r^3 : r \times R^3$, woraus $V : v = \frac{r^3}{r} : \frac{R^3}{R}$, oder $V : v = r^2 : R^2$ folget.

X. Oben (IV. Kap. §. 3. II.) ist die Entstehung der Ellipse als Kegelschnitt erklärt worden. Außerdem kann sie noch auf folgende Weise construirt werden. Um die, in der Ebene befindlichen festen Punkte F und H (Fig. 83) sey ein Faden geschlungen, dessen Länge = AH + HA ist, und dessen Enden bei A mit einander verbunden sind. Wird nun zwischen diesem Faden bei A ein zugespitztes Bleistift gebracht und dasselbe, bei immer angespannten Fäden, einmal auf dieser Ebene rings herum geführt, so entsteht die Ellipse ADBEA. Die beiden Punkte F und H heißen ihre Brennpunkte; AB ist ihre große Axe, und DE, welche in der Mitte von AB auf ihr lothrecht steht, ihre kleine Axe. Aus dieser Entstehung der Ellipse

folget: daß diese Curve unendlich verschieden gestaltet seyn könne, da das Verhältniß von AB : DE unendlich mannigfaltig seyn kann. Ferner folgt hieraus: daß die Summe irgend zweier, aus den Brennpunkten nach einem beliebigen Punkte des Umfangs der Ellipse, gezogenen Linien jedesmal der großen Axe gleich sey. So ist z. B. FD + DH = FR + RH = AB. Jemehr die beiden Axen an Größe verschieden sind, desto mehr weichet die Ellipse vom Kreise ab; je mehr aber dieselben einander gleich sind, desto mehr nähert sie sich dem Kreise. In diesem Falle rücken die zwei Brennpunkte F und H immer näher gegen C; und wenn sie in diesen Punkt selbst fallen, so wird die Ellipse zum Kreise.

XI. Da die Centralbewegung in der Ellipse unter dem allgemeinen Gesetze der Centralbewegung überhaupt stehet: so müssen auch hier die vom Radius-Vector beschriebenen Flächenräume den Zeiten der Bewegung proportional seyn. Nimmt man nun die Flächen AKF, FLE und FMB als gleich an: so werden dieselben in gleichen Zeiten beschrieben, und der bewegliche Punkt A wird die Bogen AK, LE und MB in gleichen Zeiten zurücklegen. Da aber AK > LE und LE > MB ist so ist: dessen Geschwindigkeit von A nach K größer, als von L nach E, und hier wieder größer als von M nach B. Daher muß die Bewegung in der Ellipse eine ungleichförmige seyn, welche (in Bezug auf den Brennpunkt F) bei A am größten, bei B am kleinsten, und in D und E von einer mittlern Größe ist. Auch wird der Unterschied der Geschwindigkeiten in A und in B um so größer oder kleiner seyn, je mehr oder je weniger die Ellipse vom Kreise verschieden ist.

Sechstes Kapitel.

Von der bewegenden Kraft und vom Stoße der Körper.

Der Begriff der bewegenden Kraft ist, nebst den Gesetzen ihres Wirkens, sehr wichtig für die gesammte Naturwissenschaft. Daher wird diese Lehre in nachfolgendem Kapitel entwickelt, woran sich sodann die Gesetze des Stoßes der harten und elastischen Körper naturgemäß anschließen.

§. 1.

Begriff und Gesetze der bewegenden Kraft, nebst Anwendungen davon.

I. Die Erfahrung lehrt, daß Körper von ungleichen Massen, welche mit gleicher Geschwindigkeit bewegt werden sollen, ein verschiedenes Maaß von Kraft erfordern. Die größere Masse fordert eine größere, die kleinere eine geringere Kraft. Sollen aber gleiche Massen mit ungleicher Geschwindigkeit bewegt werden, so lehrt ebenfalls die Erfahrung, daß zur größern Geschwindigkeit eine größere, zur kleinern eine geringere Kraft erforderlich sey. Hieraus geht der Begriff von der bewegenden Kraft oder, wie man es sonst nannte, von der Größe der Bewegung hervor. Man versteht darunter jenes Maaß von Kraft, welches erforderlich ist, um eine gegebene Masse mit bestimmter Geschwindigkeit zu bewegen; oder auch jene Kraftäußerung, womit eine bestimmte Masse, mit bestimmter Geschwindigkeit bewegt, auf irgend einen Widerstand einwirkt. Ihre Elemente sind die Masse, welche bewegt wird, und der Grad von Geschwin-

digkeit, womit dieses geschieht. Die Gesetze für diese bewegende Kraft sind folgende:

II. Erstes Gesetz. Wenn die Massen gleich sind, so stehen die bewegenden Kräfte im geraden Verhältnisse ihrer Geschwindigkeiten.

Nennt man diese Kräfte Q, q, die Massen M, m, und die Geschwindigkeiten C, c, so ist, für die Annahme M = m, die Proportion diese:

$$Q : q = C : c.$$

Zweites Gesetz. Wenn die Geschwindigkeiten gleich sind, so verhalten sich die bewegenden Kräfte gerade wie die Massen.

Für die Annahme C = c ist hier

$$Q : p = M : m.$$

Drittes Gesetz. Wenn sowohl die Massen, als auch die Geschwindigkeiten verschieden sind: so stehen die Bewegkräfte im zusammengesetzten Verhältnisse aus dem Geraden der Massen und der Geschwindigkeiten.

Wäre M > m und C > c, so nenne man jene bewegende Kraft v, welche aus der Masse M und aus der Geschwindigkeit c hervorgeht. Hier ist, nach dem ersten Gesetze:

Q : v = C : c, und nach dem zweiten Gesetze v : q = M : m, folglich auch

$$Q : q = M \times C : m \times c.$$

Viertes Gesetz. Wenn die Massen zweier Körper im umgekehrten Verhältnisse ihrer Geschwindigkeiten stehen, so sind ihre Bewegkräfte einander gleich.

Denn, wenn M : m = c : C ist, so wird auch M × C = m × c. Sind aber diese Produkte gleich, so müssen es auch die Bewegkräfte seyn, da sie das Maaß derselben ausdrücken.

III. Daher kann man sagen: die bewegende Kraft eines Körpers sey dem Produkte aus seiner Masse in dessen Geschwindigkeit gleich, oder es sey Q = M × C; wobei es sich von selbst versteht, daß diese

Größen nicht an sich selber, sondern nur nach ihrem Zahlenwerthe betrachtet werden; wo denn z. B. eine Masse = 8 mit der Geschwindigkeit = 6 bewegt, eine bewegende Kraft = 48 hervorbringt. Eine gleiche Bewegkraft entstände auch, wenn eine Masse = 6 mit der Geschwindigkeit = 8, oder wenn eine Masse = 12 mit einer Geschwindigkeit = 4 bewegt würde.

Aus dieser Formel $Q = M \times C$ folgt auch: $M = Q : C$, d. h. man findet die Masse, wenn die Bewegkraft durch ihre Geschwindigkeit dividirt wird, wobei die Buchstaben wiederum als Zahlen zu betrachten sind.

Auch wird $C = Q : M$, d. h. die Geschwindigkeit gleichet dem Quotienten aus der Bewegkraft durch die Masse, welche in ähnlichem Sinne zu nehmen ist. Auch kann die Bedeutung dieser Formeln dadurch erläutert werden, daß man erkennt: wie z. B. bei derselbigen Masse und der doppelten Bewegkraft auch die Geschwindigkeit noch einmal so groß; bei der halben Bewegkraft aber halb so klein werden müsse. Auch daß bei einerlei Bewegkraft und doppelter Masse die Geschwindigkeit halb so groß; bei der halben Masse aber noch einmal so groß werde u. s. w.

IV. Die Lehre ist fruchtbar an praktischen Anwendungen, wovon nur einige hier angeführt werden sollen. Die aus dem Schießgewehre geschleuderte Kugel verdankt ihre Kraft nicht der unbedeutenden Masse, sondern dem großen Grade von Geschwindigkeit, womit sie bewegt wird. — Die Masse der atmosphärischen Luft ist von unbedeutender Dichtheit; aber der Sturmwind entwurzelt starke Bäume und bringt gewaltsame Wirkungen hervor. — Ein Steinchen, von großer Höhe herabfallend, trifft mit vieler Kraft auf den Boden, weil dessen Geschwindigkeit durch den Fall so bedeutend anwächst. Wenn z. B. von zwei gleichen Massen die eine neunmal so hoch, als die andere herabfällt: so hat jene das dreifach höhere Maaß von Endgeschwindigkeit, als diese; und muß daher, weil die Massen gleich sind, auch die dreifach so große

Bewegkraft haben. Auf ähnlichem Grunde beruht auch die oft so verheerende Wirkung des Hagels. — Wenn ein schwer beladenes Schiff auf einem, auch nicht sehr schnellen Strome schwimmend, gegen ein festes Hinderniß; z. B. gegen einen Brückenpfeiler anstößt: so kann dieser Stoß ein Bersten des Schiffes zur Folge haben, welches hier nicht die Folge der schnellen Bewegung, sondern des Produkts aus der großen Masse in die kleine Geschwindigkeit ist. Aus gleichem Grunde leistet auch ein schwer beladener, mit mäßiger Geschwindigkeit bewegter Wagen großen Widerstand, wenn derselbe plötzlich soll zur Ruhe gebracht werden, u. s. w.

§. 2.

Die wichtigsten Gesetze vom Stoße harter Körper.

I. Wenn ein Körper ruht, oder langsamer vorhergeht, und ein anderer, mit größerer Geschwindigkeit gegen ihn bewegt, auf ihn trifft: so nennt man die Wirkung des letztern auf den ersten einen Stoß; welcher auch statt haben kann, wenn zwei Körper sich in entgegengesetzten Richtungen begegnen. Die Wirkungen des Stoßes sind verschieden, nachdem die stoßenden Massen entweder blos harte, oder vollkommen elastische sind. Es ist bekannt, daß eine Masse blos hart ist, wenn sie durch einen Druck oder Stoß nicht zusammengepreßt werden kann; vollkommen elastisch aber, wenn sie, nach erfolgter Kompression, mit der nämlichen Kraft sich wieder herstellt, womit sie zusammengepreßt wurde. Am bequemsten denkt man sich die stoßenden Körper als Kugeln, und nun nennt man den Stoß, welcher nach der Richtung ihrer Mittelpunkte geschieht, den Centralstoß; jeden andern aber den schiefen Stoß. Hier sollen zuerst die wichtigsten Gesetze vom Stoße harter Körper entwickelt werden.

II. Erstes Gesetz. Wenn eine harte Masse mit irgend einem Grade von Ge-

schwindigkeit gegen eine ebenfalls harte, aber unbewegliche Masse anstößt, so wird sie nach dem Stoße vollkommen ruhen.

Es sey M die stoßende Masse, C ihre Geschwindigkeit, so ist M $\times$ C ihre bewegende Kraft bei dem Anstoße. Da nun die gestoßene, unbewegliche Masse, nach dem Gesetze der Gegenwirkung, mit eben dieser Stärke MC gegen sie zurückwirkt: so heben sich beide Kräfte einander vollkommen auf, und die stoßende Masse wird ihrer sämmtlichen Bewegkraft beraubt.

III. Zweites Gesetz. Wenn eine harte Masse langsamer vorangeht, und eine andere, schneller hinterdrein kommend, central auf sie anstößt: so werden beide Massen nach dem Stoße in derselbigen Richtung mit gleicher Geschwindigkeit fortschreiten; so daß dieselbe dem Quotienten aus der Summe der Bewegkräfte vor dem Stoße durch die Summe der beiden Massen gleich ist.

Es sey die langsamere Masse = m, ihre Geschwindigkeit = c; die stoßende Masse = M, ihre Geschwindigkeit = C, endlich ihre gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stoße = x, so wird $x = \frac{MC + mc}{M + m}$.

Die bewegende Kraft der gestoßenen Masse ist vor dem Stoße = mc, jene der stoßenden = MC; somit ihre Summe = MC + mc. Da nun, wegen der nämlichen Richtung beider Massen, durch den Stoß nichts an Bewegkraft verloren wird, so muß dieselbe auch nach dem Stoße = MC + mc seyn. Nun kann aber die stoßende Masse der gestoßenen nicht mehr Geschwindigkeit mittheilen, als sie selber hat; auch kann die gestoßene Masse keine geringere Geschwindigkeit, als jene der stoßenden erhalten. Daher haben beide Massen nach dem Stoße einerlei Geschwindigkeit. Nennt man diese Geschwindigkeit x, so ist

$MC + mc = x\,(M + m)$, woraus $x = \frac{Mc + mc}{M + m}$ folget.

IV. Drittes Gesetz. Wenn eine harte Masse vorangeht, und eine andere, ihr gleiche schneller hinter drein kömmt, und auf jene central anstößt: so ist die gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stoße der halben Summe beider Geschwindigkeiten vor dem Stoße gleich.

Setzt man in der Formel $x = \frac{MC + mc}{M + m}$ den Werth $M = m$, so wird $x = \frac{MC + Mc}{2M} = \frac{M\,(C + c)}{2M} = \frac{C + c}{2}$.

V. Viertes Gesetz. Wenn eine harte Masse ruht, und eine andere mit irgend einer Geschwindigkeit central gegen sie stößt: so findet man ihre gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stoße, wenn die Bewegkraft der stoßenden durch die Summe beider Massen dividirt wird.

Denn nun wird in der Formel $x = \frac{MC + mc}{M + m}$ der Werth von c, folglich auch $mc = o$, wodurch $x = \frac{MC}{M + m}$ wird.

VI. Fünftes Gesetz. Wenn eine harte Masse ruht, und eine ihr gleiche central gegen sie stößt, so erhalten beide Massen nach dem Stoße eine Geschwindigkeit, welche der Hälfte der Geschwindigkeit der stoßenden Masse vor dem Stoße gleich ist.

Da hier $c = o$ und $M = m$ ist, so wird obige Formel $x = \frac{MC + mc}{M + m}$ nunmehr diese: $x = \frac{MC + o}{2M} = \frac{C}{2}$.

VII. Sechstes Gesetz. Wenn ungleiche Massen mit ungleichen Geschwindigkeiten (die größere Masse mit größerer, die kleinere mit kleinerer) gegen einander stoßen: so findet man die gemeinsame Geschwindigkeit nach dem Stoße, wenn die Differenz der Bewegkräfte durch die Summe der Masse dividirt wird.

Da die Richtungen der Massen entgegengesetzt sind, so sey die Geschwindigkeit von $M = + C$, und jene von $m = - c$, wodurch nunmehr $x = \frac{MC - mc}{M + m}$ wird.

VIII. Siebentes Gesetz. Wenn gleiche Massen mit gleichen Geschwindigkeiten gegen einander stoßen, so müssen beide nach dem Stoße ruhen.

Denn hier ist $+ C = - c$ und $M = m$, folglich wird hier $x = \frac{MC - MC}{M + M} = 0$.

IX. Achtes Gesetz. Wenn die gegen einander stoßenden Massen sich umgekehrt, wie ihre Geschwindigkeiten verhalten, so müssen beide nach dem Stoße ruhen.

Denn nun ist $M : m = - c : + C$, woraus $MC = - mc$ folget. Daher wird die Formel $x = \frac{MC + mc}{M + m}$ nunmehr diese: $x = \frac{MC - MC}{M + m} = 0$.

In diesen Fällen (III. bis VI.) ist die bewegende Kraft vor dem Stoße so groß, als nach dem Stoße.

X. Die bisherigen Gesetze gelten von dem Centralstoße harter Körper. Zur Erläuterung des schiefen Stoßes soll wenigstens ein Fall entwikkelt werden. Es werde die ruhende harte Kugel O (Fig. 84.) von der, ihr an Masse gleichen, ebenfalls harten Kugel A nach der schiefen Richtung AU und mit der Kraft AU gestoßen: so erhalten beide Kugeln im Momente ihrer Berührung die Stellung UO. Zieht man durch ihre Mittelpunkte die Verbindungslinie UO

nebst ihrer Verlängerung nach C und G, fället nun von A das Loth AC auf dieselbe, und ergänzt das Parallelogramm ACUB: so wird die Kraft AU in die äußern Kräfte AC und AB zerlegt, wovon jene nach einem Centralstoße, diese aber parallel mit CG wirket. Da die Kraft CU auf zwei gleiche Massen einwirkt: so wird die gestoßene Kugel O nach dem Stoße nach der Richtung OG mit der Geschwindigkeit OD = ½ CU nach G fortbewegt. Die Kugel A aber, welche in U von den Kräften UE = AC und UD = ½ CU afficirt wird, muß die Diagonale UF des zu construirenden Parallelogramms UEFD beschreiben; wodurch sowohl die Richtung, als auch die Geschwindigkeit jeder Kugel nach dem Stoße bestimmt ist.

Die seither entwickelten Resultate lassen sich an Thonkugeln, welche an der Luft noch nicht vollkommen erhärtet sind, praktisch bestätigen. Die Vorrichtung, welche bei den Experimentirübungen dazu dient, wird die Perkussions-Maschine genannt.

§. 3.

Die wichtigsten Gesetze vom Stoße elastischer Körper.

I. Da man hier vollkommen elastische Massen voraussetzt, d. h. solche, welche sich mit der nämlichen Kraft wieder herstellen, womit die Zusammenpressung geschah, so müssen bei ihrem Centralstoße zwei Momente von einander unterschieden werden. Der erste ist derjenige, in welchem beide Massen zusammengepreßt werden, und wobei sich dieselben gerade so, wie harte Körper, beweisen. Im zweiten Momente aber tritt die wiederherstellende Kraft ein, und nun zeigen sich erst die besondern Resultate, welche hieraus hervorgehen.

II. Daher müssen die Wirkungen in diesem ersten Momente zuvor untersucht werden. Wenn die harte Masse M mit der Geschwindigkeit C auf die ebenfalls harte Masse m, deren Geschwindigkeit c ist,

central anstößt, so ist aus der Lehre vom Stoße harter Körper bekannt, daß die gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stoße $= \frac{MC + mc}{M + m}$ sey.

Daher verliert die Masse M durch den Stoß die Geschwindigkeit.

$$C - \left(\frac{MC + mc}{M + m}\right) = \frac{MC + mC - MC - mc}{M + m}$$
$$= \frac{mC - mc}{M + m} = m \times \left(\frac{C - c}{M + m}\right).$$

Durch diesen Stoß gewinnt aber die Masse m eine Geschwindigkeit

$$\frac{MC + mc}{M + m} - c = \frac{MC + mc - Mc - mc}{M + m}$$
$$= \frac{MC - Mc}{M + m} = M \times \left(\frac{C - c}{M + m}\right).$$

III. Nimmt man nun an, daß eine vollkommen elastische Masse M mit der Geschwindigkeit C die ebenfalls elastische Masse m, welche sich mit der Geschwindigkeit c bewegt, central anstößt: so sind beide Körper im ersten Momente des Stoßes blos wie harte anzusehen, und die Masse m erhält von M die Geschwindigkeit $M \times \left(\frac{C - c}{M + m}\right)$. Auch verliert die Masse M in eben diesem Momente eine Geschwindigkeit $= m \times \left(\frac{C - c}{M + m}\right)$.

Da aber im zweiten Momente die Kraft der Wiederherstellung in beiden Massen wirkt, so muß m so viel an Geschwindigkeit gewinnen, als die Kraft beträgt, womit sich die zusammengedrückte M wieder gegen m ausdehnt. Die Masse M aber wurde mit dem Widerstande zusammengedrückt, welchen m hier leistete, und welcher $= M \times \left(\frac{C - c}{M + m}\right)$ war. Folglich erhält die Masse m die Summe von beiden, oder $2M \times \left(\frac{C - c}{M + m}\right)$.

In eben diesem zweiten Momente verliert aber M so viel, als die Kraft beträgt, womit sich die zusammengedrückte m in der Richtung gegen M wieder herstellt. Diese Kraft der Wiederherstellung von M ist aber der Größe ihrer Zusammendrückung, d. h. dem Verluste gleich, welchen M im ersten Augenblicke des Stoßes erlitt, oder sie ist auch $= m \times \left(\frac{C - c}{M + m}\right)$. Folglich ist der gesammte Verlust von $M = 2\,m \times \left(\frac{C - c}{M + m}\right)$

IV. Hierdurch ist es leicht, die Geschwindigkeiten zu bestimmen, womit sich m und M nach dem Stoße fortbeweget. Nämlich:

1) die Geschwindigkeit von m ist $=$

$$c + \frac{2\,M \times (C - c)}{M + m} = \frac{M\,c + m\,c + 2\,MC - 2\,Mc}{M + m}$$

$$= \frac{2\,MC - Mc + mc}{M + m}$$

2) die Geschwindigkeit von M wird aber

$$C - \frac{2\,m \times (C - c)}{M + m} = \frac{MC + mC - 2mC + 2mc}{M + m}$$

$$= \frac{MC - mC + 2mc}{M + m}$$

Durch diese Formeln ist man im Stande, die Resultate aller besondern Fälle zu entwickeln; wenn man die jedesmaligen Bedingungen derselben gehörig in dieselbigen einträgt, wie nachfolgende Darstellungen zeigen.

V. Erstes Gesetz. Wenn von zwei gleichen elastischen Massen die eine langsamer vorangeht, und die andere schneller bewegte central auf sie anstößt: so bewegen sich beide nach derselbigen Richtung, aber mit verwechselten Geschwindigkeiten fort.

Da hier $M = m$, so wird aus der Formel:

$$c + \frac{2M \times (C - c)}{M + m} \text{ nunmehr diese:}$$

c +

$c + \frac{2M \times (C - c)}{2M} = c + C - c = C$ für die Geschwindigkeit der Masse m nach dem Stoße.

Desgleichen wird aus der Formel $C - \frac{2m \times (C - c)}{M + m}$ nunmehr folgende, $C - \frac{2m \times (C - c)}{2m} = C - C + c = c$, für die Geschwindigkeit der Masse M nach dem Stoße.

Es ist den Anfängern zu rathen, diese und die folgenden Formeln in Zahlenbeispielen zu erläutern.

VI. Zweites Gesetz. Wenn der ruhende bewegliche elastische Körper mit dem stoßenden von ungleicher Masse ist: so verhält sich die Geschwindigkeit des gestoßenen zu jener des stoßenden, wie sich die doppelte Masse des letztern zur Summe beider Massen verhält. Und: die Geschwindigkeit des stoßenden nach dem Stoße verhält sich zu dessen Geschwindigkeit vor dem Stoße, wie sich der Unterschied beider Massen zu ihrer Summe verhält.

Da m vor dem Stoße ruhet, so ist $c = o$ und man erhält aus der obigen Formel $c + \frac{2M \times (C - c)}{M + m}$ nunmehr diese, $O + \frac{2M \times (C - o)}{M + m} = \frac{2MC}{M + m}$, für die Geschwindigkeit von m nach dem Stoße.

Eben so wird aus der andern Formel $C - \frac{2m \times (C - c)}{M + m}$ nunmehr folgende, $C - \frac{2m \times (C - o)}{M + m} = C - \frac{2mC}{M + m} = \frac{MC + mC - 2mC}{M + m} = \frac{MC - mC}{M + m} =$

$\frac{C \times (M - m)}{M + m}$ für die Geschwindigkeit von M nach dem Stoße.

Nennt man die neue Geschwindigkeit von m = y, und die von M = x, so entstehen folgende Proportionen:

1) $y : C = 2M : M + m$, und

2) $x : C = M - m : M + m$, deren wörtlichen Ausdruck die oben stehenden Gesetze angeben. Auch kann man die Probe darüber machen, ob die Summe der Bewegkräfte nach dem Stoße der wirksamen Bewegkraft vor dem Stoße gleich ist.

VII. Drittes Gesetz. Wenn auf einen ruhenden, vollkommen elastischen Körper ein anderer von gleicher Masse central anstößt: so wird der stoßende nach dem Stoße ruhen; der gestoßene aber sich mit der Geschwindigkeit des stoßenden nach der nämlichen Richtung fortbewegen.

Hier ist $c = 0$ und $M = m$; folglich wird aus der obigen Formel, $\frac{2MC}{M + m}$, nunmehr die Geschwindigkeit von m nach dem Stoße $= \frac{2MC}{2M} = C$, oder der Geschwindigkeit von M vor dem Stoße gleich.

Ferner wird aus der Formel, $\frac{MC - mC}{M + m}$, nunmehr diese, $\frac{MC - MC}{M + m} = 0$, für die Geschwindigkeit von M nach dem Stoße.

VIII. Viertes Gesetz. Wenn eine vollkommen elastische Masse gegen eine ähnliche, aber unbewegliche (oder gegen sie unendlich große) anstößt: so springt sie nach dem Stoße mit ihrer ganzen Geschwindigkeit in der entgegengesetzten Richtung zurück.

Wenn die Masse m unbeweglich, oder gegen M außerordentlich groß angenommen wird: so kann man M, in Bezug auf m, = o setzen, und nun wird obige Formel, $\frac{MC - mC}{M + m}$, in diese verwandelt: $\frac{o - mC}{o + m} = -\frac{mC}{m} = - C$, d. h. die stoßende Masse M erhält nach dem Stoße das ganze Maaß ihrer Geschwindigkeit von dem Stoße; aber negativ, d. h. nach entgegengesetzter Richtung.

IX. Fünftes Gesetz. Wenn zwei gleiche elastische Massen in entgegengesetzter Richtung gegen einander stoßen: so verwechseln sie nach dem Stoße sowohl ihre Richtungen, als auch ihre Geschwindigkeiten.

Da hier M = m ist, aber C und c entgegengesetzt in ihrer Richtung sind: so habe M die Richtung + C, und m die Richtung — c.

Nun muß man in obiger Formel, $\frac{MC - mC + 2mc}{M + m}$, das Glied, welches c enthält, mit dem entgegengesetzten Zeichen setzen, woraus die Geschwindigkeit von M nach dem Stoße = $\frac{MC - mC - 2mc}{M + m}$ wird.

Auf gleiche Weise findet man aus der Formel, $\frac{2MC - Mc + mc}{M + m}$, nunmehr die Geschwindigkeit von m = $\frac{2MC + Mc - mc}{M + m}$.

Da aber auch M = m ist: so wird die erste der so eben gefundenen Formeln, oder $\frac{MC - mC - 2Mc}{2M}$ nunmehr $= -\frac{2Mc}{2M} = - c$,

Die zweite Formel aber, oder $\frac{2MC + Mc - mc}{2M}$ wird nun $= \frac{2MC}{2M} = + C$; wodurch das oben genannte Gesetz erwiesen ist.

X. Sechstes Gesetz. Wenn zwei gleiche elastische Massen mit gleichen, aber entgegengesetzten Geschwindigkeiten gegen einander stoßen, so springt jede mit der Geschwindigkeit, womit sie anstieß, wiederum zurück.

Da nämlich nach dieser Annahme $+ C = - c$ ist: so verwechseln sich (nach IX.) hier die beiden gleichen Geschwindigkeiten, woraus die Richtigkeit des Gesetzes hervorgeht.

XI. Siebentes Gesetz. 1) Wenn zwei ungleiche elastische Massen mit gleichen Geschwindigkeiten gegen einander stoßen: so verhält sich die Geschwindigkeit der größern nach dem Stoße zur gemeinschaftlichen Geschwindigkeit vor dem Stoße, wie sich der Unterschied der größern und der dreifach kleinern Masse zur Summe beider Massen verhält.

2) Es verhält sich in diesem Falle die Geschwindigkeit der kleinern Masse nach dem Stoße zur gemeinsamen Geschwindigkeit vor dem Stoße: wie sich der Ueberschuß der dreifach größern Masse über die kleinere zur Summe beider Massen verhält.

Da die ungleichen Massen M und m mit gleicher Geschwindigkeit gegen einander stoßen, so nenne man die Geschwindigkeit von M die positive oder $+ C$; jene von m die negative, oder $- C$. Hierdurch wird die vorige Formel, $\frac{MC - mC - 2mc}{M + m}$, nunmehr in folgende verwandelt:

$$\frac{MC - mC - 2mC}{M + m} = \frac{MC - 3mC}{M + m}$$ für die Geschwindigkeit von M nach dem Stoße.

Auf gleiche Weise wird die andere Formel, $\frac{2MC + Mc - mc}{M + m}$, in diese verwandelt:

$\frac{2MC + MC - mC}{M + m} = \frac{3MC - mC}{M + m}$ für die Geschwindigkeit von m nach dem Stoße.

Setzt man nun diese neue Geschwindigkeit von M = x und jene von m = y: so wird

$$x = \frac{MC - 3mC}{M + m} = \frac{(M - 3m)C}{M + m}, \text{ und}$$

$$y = \frac{3MC - mC}{M + m} = \frac{(3M - m)C}{M + m}.$$

Aus jener Gleichung folgt die Proportion, $x : C = M - 3m : M + m$; und aus dieser, $y : C = 3M - m : M + m$.

Unter diesem allgemeinen Gesetze sind drei Hauptfälle begriffen, da entweder

1) $3m < M$, oder

2) $3m = M$, oder

3) $3m > M$ seyn kann, deren weitere Entwicklung eine lehrreiche Uebung für Anfänger ist.

XII. **Achtes Gesetz.** Wenn zwei ungleiche elastische Massen mit ungleichen Geschwindigkeiten gegen einander stoßen, und die Masse M die Geschwindigkeit + C, die Masse m aber die Geschwindigkeit — c hat: so wird nach dem Stoße

1) Die Geschwindigkeit von M = $\frac{MC - mC - 2mc}{M + m}$; desgleichen wird

2) Die Geschwindigkeit von m nunmehr $= \frac{2MC + Mc - mc}{M + m}$.

Wie man leicht findet, wenn in den bekannten Formeln jene Glieder, welche c enthalten, mit entgegengesetztem Zeichen gesetzt werden.

Daß hier die bewegende Kraft vor und nach dem Stoße dieselbige ist, kann ebenfalls leicht nachgewiesen werden.

XIII. Auch diese Gesetze von dem Stoße elastischer Körper können durch die sogenannte Percussionsmaschine, woran mehrere Kugeln von El=

fenbein an gleich langen Fäden gehörig neben einander hängen, ungefähr bestätigt werden. Da wir keine vollkommen elastischen Massen besitzen, so können auch die Resultate dieser Theorie nicht aufs genaueste entsprechen. So müßte z. B. eine vollkommen elastische Kugel, von einer gewissen Höhe auf eine wagerechte Marmorplatte herabfallend, wiederum zu der nämlichen Höhe emporsteigen; was aber in der Wirklichkeit theils wegen der unvollkommenen Elasticität der Kugel, theils aber wegen des Widerstandes der Luft nicht statt finden kann. Je weniger die Höhe beträgt, auf welche diese Kugel zurückspringt, desto weniger elastisch ist dieselbe.

XIV. Auch gehört hierher das, wegen vielfacher Anwendungen so wichtige Reflexionsgesetz. Es werde der vollkommen elastische Körper A (Fig. 85.) nach der schiefen Richtung und mit der Kraft AC gegen die elastische Ebene MN gestoßen: so kann man diese Kraft AC in die lothrechte AD und in die parallele AE, durch Konstruktion des Rechteckes ADCE, auflösen, wovon allein jene als Stoß gegen MN wirkt. Da aber der Kraft AD, mit welcher der vollkommen elastische Körper A von A nach D, oder im Punkte C von E nach C gestoßen wird, eine ihr gleiche, nur nach entgegengesetzter Richtung CE wirkende Kraft entspricht: so wird der Körper in C wiederum von den beiden Kräften CE und CF = AE afficirt, und muß somit, von beiden getrieben, die Diagonale CB des zu bildenden Rechteckes CEBF beschreiben. Daher ist der Winkelweg ACB die Bahn des anstoßenden und zurückprallenden Körpers. Aus der Konstruktion der beiden Rechtecke CEAD und CEBF geht die Kongruenz der beiden Dreiecke ACD und BCF hervor, woraus die Gleichheit der Winkel ACD und BCF folget. Man nennt jenen Winkel den Einfalls- diesen aber den Reflexionswinkel, und das nunmehr bewiesene Reflexionsgesetz ist folgendes:

Wenn eine vollkommen elastische Masse nach schiefer Richtung gegen eine reflec-

tirende Ebene anstößt: so wird sie dergestalt von derselben zurückgeworfen, daß der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel gleich ist. Geschähe der Stoß nach lothrechter Richtung, so würde auch die Zurückwerfung lothrecht erfolgen.

Wäre die gegen MN mit der Kraft AC anstoßende Masse nicht vollkommen elastisch: so würde ihrem lothrecht wirkenden Antheile AD nur ein kleinerer Theil, etwa CH, als Rückwirkung entsprechen; und man müßte nun aus CH und CF das Rechteck CHLF bilden, dessen Diagonale CL den Weg des zurückgeworfenen Körpers bestimmte. Da der Winkel LCF kleiner, als der Winkel BCF ist: so geschieht die Reflexion minder elastischer Massen so, daß der Reflexionswinkel kleiner als der Einfallswinkel ist. Wäre aber der anstoßende Körper blos hart, so würde die Kraft AD durch den Widerstand der Ebene MN durchaus aufgehoben und es bliebe nur die Kraft CF übrig; d. h. der von A nach AC mit der Kraft C stoßende harte Körper wird nach dem Stoße durchaus nicht zurückspringen, sondern von C nach F auf der Ebene fortgleiten.

XV. Der schiefe Stoß elastischer Massen soll an folgendem Beispiele erläutert werden. Wenn die ruhende, vollkommen elastische Kugel U (Fig. 86.) von der, ihr an Masse gleichen ebenfalls vollkommen elastischen Kugel O mit der Kraft DC gestoßen wird: so zerlege man diese Kraft DC in die Kräfte DA und DG des konstruirten Parallelogramms DACG. Hier wirken bei dem Stoße die Kräfte AC und GC. Durch jene wird die Kugel U nach dem Stoße mit der Geschwindigkeit CB = AC von C nach B getrieben, und die stoßende Kugel O bewegt sich, von der einzigen Kraft GC getrieben, mit der Geschwindigkeit CM = GC von C gegen M hin.

XVI. Man kann von den zeitherigen Lehren eine interessante Anwendung auf die Bewegungen der Bälle beim Billardspiele machen. Es sey CDFE (Fig. 87.) die Gestalt des Billard: so müssen die Polster der

Bände als reflectirende Flächen, die elfenbeinernen Bälle aber in Bezug auf dieselben als blos harte Körper angesehen werden. Wird daher der Ball A nach der Richtung AB lothrecht gegen CD gespielt, so muß derselbe auch (bei gehöriger Verfertigung der Bände) wiederum von B nach A zurückkehren. Wird dagegen der Ball H nach der Richtung HK schief gegen das Band TF angespielt, so ist HKT der Einfallswinkel; und wenn man sich den Winkel FKL demselben gleich denkt, so muß der Ball von K nach L zurückprallen. Um die Stelle K, gegen welche der Ball H anstoßen muß, zu finden, denke man von L die auf TF lothrechte LO so nach Q verlängert, daß OQ = OL ist, und ziehe von Q nach H die Linie QH: so ergibt sich dieser Punkt K. Denn die Dreiecke KOL und KOQ sind einander congruent: folglich auch die Winkel LKO und QKO einander gleich. Aber der Winkel QKO ist, als Scheitelwinkel, dem Winkel HKT gleich. Folglich sind auch die Winkel LKO und HKT einander gleich.

Sollte der Ball N so nach CD antreffen, daß er bei seinem Rückwege nach T käme, so müßte man durch das Augenmaaß den Punkt R am Bande bestimmen; so, daß der Winkel NRC dem Winkel TRD gleich wäre.

Wenn der von H nach K gestoßene Ball H durch die Reflexion von K nach L zurückgeht und das Band EF bei V berührt: so erhält er hier durch die zweite Reflexion die Richtung VW, welche bei W wiederum durch die dritte Reflexion nach WX sich erstreckt.

Was die Bälle unter sich betrifft, so müssen sie wie elastische Körper betrachtet werden. Stieße nun z. B. der Ball M gegen den ruhenden N von gleicher Masse und Elasticität central an (beim vollen Stoße): so müßte, der Theorie zu Folge, N mit der Geschwindigkeit von M nach R fortschreiten; M aber an der Stelle von N unbewegt bleiben. Daß dieses nur sehr selten ganz genau eintrifft, rührt theils von der etwas ungleichen Masse der Bälle, theils auch davon her: daß bei dem Stoße solche Stellen in Be-

rührung kommen, deren elastische Kraft nicht vollkommen gleich ist.

Bei dem schiefen Stoße (bei dem Tachiren) tritt das Gesetz vom schiefen Stoße der elastischen Massen ein, und es muß sowohl die Richtung des gestoßenen, als auch jene des stoßenden Balls nach dem Stoße beachtet werden. Da dieses nur durch vielfache Uebung des Augenmaaßes erworben werden kann, so ist diese dem praktischen Billardspieler unentbehrlich, wiewohl ihm auch die Kenntniß der Theorie vielfach nützen wird.

Das Aussprengen der Bälle gründet sich darauf, daß der stoßende den gestoßenen etwas weniges unter seiner Mitte anstößt, was bei nicht vollkommen gleich großen, oder nicht genau kugelförmigen Bällen öfters geschehen kann.

Geht der Ball M langsam nach R voran, und M bewegt sich schneller hinter drein: so werden beide nach dem Stoße zwar gegen R fortschreiten, aber mit verwechselten Geschwindigkeiten. Weitere Anwendungen auf das Doubliren u. s. f. lassen sich ebenfalls leicht machen.

Siebentes Kapitel.

Die Lehre vom Schwerpunkte.

Nachdem der Begriff des Schwerpunkts bestimmt, und das Gesetz für den festen Stand der Körper dargestellt ist, werden mehrere Anwendungen dieser Lehre auf Erscheinungen der Natur und der Kunst gemacht. Zum Schlusse wird Einiges vom Schwerpunkte geometrischer Linien, Flächen und Körper angeführt.

§. 1.

Begriff des Schwerpunkts. Gesetz des festen Standes der Körper.

I. Die Erfahrung lehrt, daß man z. B. ein ablanges, viereckig gestaltetes Brett auf einer scharfen Kante so lange hin- und herschieben kann, bis sich dessen beide Stücke gegenseitig das Gleichgewicht halten. Man nennt diese Linie die Unterstützungslinie des Körpers. Wird dieses Brett nach anderer Richtung auf der scharfen Kante wiederum hin- und her bewegt, bis es abermals im Gleichgewichte steht, so ergibt sich hierdurch eine zweite Unterstützungslinie, welche die vorige in einem Punkte schneidet, welchen man den Schwerpunkt des Bretts zu nennen pflegt, obwohl derselbe eigentlich nicht auf dessen Oberfläche, sondern in dem Innern seines Volumens liegt. Man versteht nämlich im Allgemeinen unter dem Schwerpunkte eines Körpers jenen, theils innerhalb, bisweilen auch außerhalb desselben liegenden Punkt, worin man sich dessen ganzes Gewicht vereinigt vorstellen kann; so, daß der ganze Körper unterstützt ist, wenn dieser Schwerpunkt eine Unterstützung findet.

II. Wenn Körper regelmäßige Gestalten haben und gleichförmig mit Materie angefüllt sind, so ist der Mittelpunkt ihres Volumens zugleich auch ihr Schwerpunkt. So befindet sich z. B. der Schwerpunkt einer solchen Kugel in ihrem Mittelpunkte; eines solchen Würfels, da wo sich die beiden in seiner Diagonalfläche gezogenen Diagonalen einander schneiden. Im senkrechten Cylinder ist er in der Mitte seiner Achse; eben so im jedem Parallelepipedum u. s. w. Dagegen erkennt man von selbst schon, daß sich derselbe im senkrechten Kegel, nicht in der Mitte seiner Achse befinden könne. Daß aber jeder physische Körper Einen solchen Schwerpunkt haben müsse, wird klar, wenn man die Körper als aus sehr vielen schweren Punkten zusammengesetzt annimmt. Denn zwei solcher Punkte müßten in ihrer Mitte, drei in dem mittlern, vier wiederum da, wo jedes Paar

verbunden ist, unterstützt werden, um das Ganze zu tragen. Auf diese Weise kann man für jede beliebige Menge von schweren Punkten fortschreiten; bis man am Ende einmal jenen Punkt findet, welcher die gemeinschaftliche Unterstützung aller, d. h. der Schwerpunkt des ganzen Körpers ist.

III. Es stelle ABCD (Fig. 88.) ein senkrechtes Parallelepipedum und E seinen Schwerpunkt vor, welcher sich hier in der Mitte seines Volumens befindet: so kann man sich das ganze Gewicht de Körpers in diesem Punkte E vereinigt denken. Da nun die Schwerkraft ein Streben hat, die Körper lothrecht zu bewegen, so kann man sich unter der senkrechten Linie EF die Richtung vorstellen, nach welcher der Schwerpunkt E getrieben wird. Man nennt dieses Loth aus dem Schwerpunkte E auf die Horizontallinie VW die Direktionslinie des Schwerpunktes; und es ist klar, daß der Körper ABCD seinen festen Stand behauptet, wenn diese Linie EF innerhalb der Grundfläche DC fällt.

Betrachtet man dagegen das schiefe Parallelepipedum HIKL, dessen Schwerpunkt M und dessen Direktionslinie MN ist: so wird klar, daß dieselbe außerhalb der Grundfläche LK fällt, und daß der Körper HIKL bei dieser Lage nicht mehr fest stehen, sondern fallen werde.

IV. Hieraus ergibt sich das allgemeine Gesetz, worauf der feste Stand aller Körper beruht. Es ist folgendes: Wenn bei einem Körper die Direktionslinie seines Schwerpunktes innerhalb der Fläche fällt, worauf er steht, so ist er gegen den Fall gesichert; fällt dagegen die Direktionslinie außerhalb seiner Grundfläche, so muß der Körper fallen.

Denkt man sich z. B. den rundlichen Körper K (Fig. 89.) dessen Schwerpunkt in O ist, auf der schiefen Ebene MR liegend, sich selbst überlassen, so muß derselbe herabfallen. Denn die Direktionslinie OPD fällt außerhalb der Stelle E, in welcher der Körper die schiefe Ebene berührt.

Wenn an dem Faden CA (Fig. 90.) die Kugel B aufgehängt ist, so wird dieselbe, lothrecht hängend, in Ruhe bleiben. Denn ihr Mittelpunkt B ist auch ihr Schwerpunkt, welcher nach der Direktionslinie BE getrieben wird. Diese aber findet am Aufhängepunkte C eine Unterstützung. Wird aber diese Vorrichtung in die schiefe Lage CH gebracht, so ist IK die Direktionslinie des Schwerpunktes I, welche durch den Aufhängepunkt C nunmehr keine Unterstützung findet.

Auf gleiche Weise wird der senkrechte Kegel ABC (Fig. 91.) auf der Grundfläche BC feststehen, da die Direktionslinie DE in die Mitte seiner Grundfläche fällt. Soll derselbe aber nach FIH mit seiner Spitze I auf die Fläche PR gestellt werden, so wird er in dieser Lage nicht ruhen können, da die Direktionslinie NI, bei der kleinsten Neigung des Kegels ihre kleine Unterstützung bei I verlieret. Aus gleichem Grunde ist es so schwer, ein Ei auf eine seiner Spitzen so zu stellen, daß es nicht umfällt.

V. Der Schwerpunkt liegt nicht immer innerhalb der Grenzen des Körpers, sondern befindet sich bisweilen außerhalb desselben. Es sey, z. B. ABC (Fig. 92.) ein hohler, etwa tellerförmig gestalteter Körper, so liegt dessen Schwerpunkt im Raume seiner Höhlung, z. B. in D. Wird derselbe bei B auf eine Spitze gestellt: so bleibt er in Ruhe, da der Schwerpunkt D sich unterhalb dieses Unterstützungspunktes befindet. Bewegt man den Körper bei A etwas herab: so wird der Schwerpunkt von D nach F emporsteigen, und, sich selbst überlassen, wiederum von F nach D herabfallen; sodann von D nach H emporsteigen, von da wieder zurückfallen, u. s. w. wodurch ein Hin- und Herschwanken des ganzen Körpers entsteht.

Wollte man einen ähnlich gestalteten Körper RMK mit seiner erhabenen Seite bei M auf die Spitze stellen, so würde er hier nicht in Ruhe bleiben können; da sein Schwerpunkt H, welcher sich oberhalb des Unterstützungspunkts M befindet, bei der kleinsten Be-

wegung, diese Unterstützung verlieret, wodurch der ganze Körper fallen muß.

§. 2.

Einige Anwendungen von der Lehre vom Schwerpunkte.

I. Die Anwendungen, welche man von dieser Lehre vom Schwerpunkte machen kann, sind höchst mannigfaltig. Es sollen hier nur einige derselben angeführt werden, um den Anfängern Gelegenheit zu geben, sich selbst weiter darin zu üben. Nämlich:

1. Der auf der schiefen Ebene hinaufsteigende Cylinder;
2. Der Doppelkegel, welcher ebenfalls die schiefe Ebene hinauf rollt;
3. Die sogenannte Lampe des Cardanus;
4. Die Einrichtung und Wirkung des chinesischen Purzelmännchens.
5. Das sogenannte Balançirmännchen;
6. Die Einrichtung und der Gebrauch des Wegmessers;
7. Die Erklärung der schief stehenden Thürme zu Pisa und Bologna;
8. Die Einrichtung und der Gebrauch des Hänge-Compasses;
9. Die Erklärung mehrerer Spielwerke, z. B. der Hollundermännchen, u. dgl.

Diese Vorrichtungen der Experimentalphysik müssen wirklich vorgezeigt, und ihre Erklärungen mit der Anschauung verbunden werden.

II. Auch beruht die Theorie des Stehens und Gehens der Menschen, und anderer Bewegungen seines Körpers auf dieser Lehre. Es befindet sich nämlich der Schwerpunkt des Menschen, bei seinem gewöhnlichen aufrechten Stande, in dem Innern des Unterleibes in der Gegend des Nabels. Steht derselbe daher auf zwei Füßen, so bildet das Viereck zwischen diesen seine Grundfläche; und die Direk-

tionslinie des Schwerpunktes fällt innerhalb derselben. Neigt er sich zur Seite hin, so wird die Direktionslinie immer mehr gegen die Grenze der Grundfläche rücken und kann leicht über dieselbe hinausfallen, wobei der Mensch selbst zum Falle geräth. Eben dieses hat bei dem allmähligen Neigen nach vornen und vorzüglich nach hinten statt, da die Direktionslinie hier sehr leicht hinter die Grenzlinie der Fersen hinausfällt. Das Gehen ist nichts anders, als der Anfang zum Falle, weil die Direktionslinie des Schwerpunktes bei dem Vorwärtsbewegen des einen Fußes ihre Unterstützung verloren hat. Der Mensch würde selbst fallen, wenn nicht der vorgesetzte Fuß sehr schnell wiederum eine neue Grundfläche bildete. Werden wir durch irgend ein Hinderniß (z. B. im Finstern) hievon abgehalten, so müssen wir wirklich zu Boden fallen. Daß wir unsern Körper, beim Bergaufgehen, vorwärts, und beim Bergabgehen rückwärts, neigen, ist ebenfalls hieraus leicht zu erklären; so wie auch das instinktmäßige Vorbeugen des Oberleibes, wenn wir eine bedeutende Last auf dem Rücken tragen: indem hierdurch der Schwerpunkt des Körpers seine gewöhnliche Stelle verläßt und etwas mehr nach hinten rückt. Soll daher der Mensch nicht nach dieser Richtung umfallen, so muß, durch das Vorwärtsbeugen des Oberleibes, der Schwerpunkt wiederum mehr nach vorne, und dessen Direktionslinie in die Grundfläche der Füße gebracht werden. Auf ähnlichen Gründen beruht der Mechanismus des Aufstehens von einem Stuhle, wobei der Oberleib vorwärts, die Füße aber (oder auch nur einer derselben) rückwärts bewegt werden. Das Laufen besteht in einer durch vielfache Uebung erlangten Fertigkeit, die Direktionslinie des Schwerpunktes abwechselnd innerhalb der kleinen Flächen der Fußsohlen zu erhalten. Wenn man den Angriff eines auf uns einstürzenden Menschen oder Thieres erwartet: so stellt man die beiden Füße in größerer Entfernung von einander, und neiget den Oberleib etwas nach vornen. Hierdurch wird die Grundfläche vergrößert, der Schwerpunkt nähert sich derselben,

und wird von ihrer hintern Grenze um so weiter entfernt.

III. Eben hieraus entspringt eine sehr zu beobachtende Vorsicht für Badende, welche keine Schwimmer sind. Wenn sich z. B. der Mensch bis zur Hälfte seines Leibes senkrecht stehend im Wasser befindet: so erleidet der eingetauchte Theil durch die bekannte hydrostatische Wirkung des Wassers eine bedeutende Verminderung seines Gewichtes, und der Schwerpunkt, welcher sich zuvor in der Gegend des Nabels befand, wird nun weit höher liegen. Je tiefer der Mensch in das Wasser geht, desto mehr steigt dessen Schwerpunkt empor, und desto leichter ist das Umschlagen des Körpers zu besorgen. Auf gleiche Weise erklärt man hieraus die Bewegungen bei dem Tanzen, Stelzengehen, Schlittschuhlaufen, so wie auch die bekannten Künste der Seiltänzer und Aequilibristen.

IV. Bei vierfüßigen Thieren, welche auf gewöhnliche Weise da stehen, bildet das Viereck zwischen ihren vier Füßen die Grundfläche, innerhalb welcher die Direktionslinie des Schwerpunktes beinahe gegen die Mitte derselben fällt. Diese Thiere haben daher einen festen Stand. Bei ihrem Gange bewegen sie nicht die zwei rechten, oder die beiden linken Füße auf Einmal vorwärts: weil der Schwerpunkt nun sehr leicht außerhalb der schmalen Grundfläche ihrer beiden andern Füße fallen, und einen so beschwerlichen, als widrigen Gang verursachen würde. Indem aber z. B. der rechte Vorderfuß, der linke Hinterfuß, der linke Vorderfuß und der rechte Hinterfuß nach dieser Ordnung voranschreitet: so erhält sich die Direktionslinie des Schwerpunkts immer innerhalb der Grundfläche. Das Springen dieser Thiere, z. B. der Pferde im Galoppe beruht darauf, daß die schmale Fläche zwischen den beiden Vorderfüßen abwechselnd die Basis wird, in welcher sich der Schwerpunkt hin- und her beweget. Wenn man den Gang und die Bewegungen anderer Thiere aufmerksam betrachtet, so ist es leicht, diese Erscheinungen aus der bisherigen Theorie befriedigend zu erklären.

§. 3.

Bestimmung des Schwerpunkts geometrischer Linien, Flächen und Körper.

I. Obwohl die geometrischen Linien, als blos gedachte Objekte des Raumes, durchaus keine Schwere haben: so kann man sich dennoch eine Linie denken, welche aus der Zusammensetzung sehr vieler, gleich schwerer Punkte entstanden ist, und dieselbe eine schwere Linie nennen. Es sey MN (Fig. 93.) eine solche, so ist klar, daß sie ihren Schwerpunkt in der Mitte bei C habe. Wird dieser Punkt C unterstützt, so ist auch die ganze Linie gegen den Fall geschützt. Denn von C gegen N liegen eben so viele schwere Punkte und in der nämlichen Ordnung, wie dieselben von C nach M liegen. Folglich muß C sowohl Mittelpunkt der Größe, als auch Mittelpunkt der Schwere seyn. Bestände der Kreisbogen ABC (Fig. 94.) aus einer Zusammensetzung von schweren Punkten, so befände sich dessen Schwerpunkt ebenfalls in seiner Mitte C, und man könnte ihn hier auf der Spitze CD ins Gleichgewicht stellen. Eigentlich liegt aber der Schwerpunkt nicht gerade in C, sondern etwa bei E im leeren Raume, wie bereits oben bemerkt worden ist.

II. Auf ähnliche Weise kann man sich auch schwere Ebenen denken, d. h. Ebenen, welche gleichförmig mit gleich schweren Punkten ausgefüllt sind. Es sey MND (Fig. 95.) ein solches schweres Dreieck, dessen Schwerpunkt gefunden werden soll: so ist klar, daß der Schwerpunkt der Linie ND in ihrer Mitte bei F sich befinde. Zieht man nun die gerade Linie MF, so ist aus der Geometrie bekannt, daß alle mit ND parallel laufende Linien von dieser MF halbirt werden. Daher befinden sich in MF die Schwerpunkte aller dieser Querlinien. Da aber die Summe dieser Parallelen das Dreieck MND bildet, so muß sich der Schwerpunkt dieses Dreieckes in der Linie MF befinden. Wird nun MD in E halbirt, und die gerade Linie NE gezogen, so muß der Schwerpunkt

punkt des Dreiecks auch in dieser Linie liegen. Daher befindet er sich in ihrem gemeinschaftlichen Durchschnitte, d. h. im Punkte O. — Um nun die geometrische Lage dieses Punktes O zu bestimmen, ziehe man von E nach F eine gerade Linie. Da nun DE = $\frac{1}{2}$ DM, und DF = $\frac{1}{2}$ DN ist, so muß EF mit MN gleichlaufend seyn. Folglich haben die Dreiecke EOF und NOM außer den Scheitelwinkeln bei O annoch die Wechselwinkel OEF und ONM gemein, und sind daher einander ähnlich, woraus die Proportion EF : MN = FO : OM folget. Aber, wegen DE = $\frac{1}{2}$ DM, ist auch EF = $\frac{1}{2}$ MN. Folglich muß auch FO = $\frac{1}{2}$ OM seyn. Daher findet man den Schwerpunkt eines Dreiecks, wenn eine Seite halbirt, aus diesem Punkte nach der gegenüber liegenden Winkelspitze eine gerade Linie gezogen, und auf dieser, von der Spitze herab, zwei Drittheile von ihr genommen wird.

III. Auf ähnliche Weise kann auch der Schwerpunkt eines geradlinigen Vierecks gefunden werden. Wenn (Fig. 96.) MNPQ dieses Viereck ist, so ziehe man die Diagonale MP, halbire sie in B, ziehe BQ und BN, mache BF = $\frac{1}{3}$ BQ; BE = $\frac{1}{3}$ BN, und ziehe FE; so muß sich der Schwerpunkt des Vierecks in dieser Linie FE befinden, da sie die Schwerpunkte F und E seiner beiden Theile MPQ und MPN verbindet. Wird nun die Diagonale QN gezogen, dieselbe in A halbirt, sodann AM und AP gezogen, AC = $\frac{1}{3}$ AM und AD = $\frac{1}{3}$ AP genommen, und nun CD gezogen: so muß der Schwerpunkt des Vierecks auch in dieser Linie CD liegen. Daher befindet er sich im Punkte O, in welchem die beiden Schwerpunktslinien FE und CD sich durchschneiden. Die Lage dieses Punkts O kann wiederum geometrisch bestimmt werden. Auf ähnliche Weise kann man auch den Schwerpunkt geradliniger Vielecke finden.

IV. Wenn man unter einem schweren Körper jenen versteht, dessen Raum mit gleich schweren

Punkten gleichförmig erfüllt ist, so kann man auch nach dem Schwerpunkte solcher Körper fragen. Es sey NBCM (Fig. 97.) eine dreiseitige schwere Pyramide, deren Schwerpunkt bestimmt werden soll. Wenn man BC in D halbirt, die Gerade DN zieht, und DE $= \frac{1}{3}$ DN nimmt, so ist E der Schwerpunkt der Grundfläche NBC. Wird nun die gerade Linie DM gezogen und DF $= \frac{1}{3}$ DM genommen, so ist F der Schwerpunkt der Seitenfläche MBC; zieht man nun die Linie ME, so muß sich der Schwerpunkt der Pyramide in ihr befinden. Denn man kann sich den ganzen Körper als die Summe sehr vieler Dreiecke denken, welche mit NBC gleichlaufend sind, gegen die Spitze hin immer kleiner werden, und durch deren sämmtliche Schwerpunkte die Linie ME gehen muß. Da nun auf gleiche Weise der Schwerpunkt der Pyramide auch in der Linie MF liegt, so muß der Durchschnittspunkt O der zu findende Schwerpunkt seyn.

Daß die Linien ME und MF sich im Punkte O schneiden müssen, folgt daraus, daß beide sich in der Ebene des Dreiecks MND befinden. Die Lage des Schwerpunkts O aber kann leicht bestimmt werden. Man ziehe die Gerade FE, so muß diese, weil DF : DM $=$ DE : DN $= 1 : 3$ ist, mit MN gleichlaufend seyn, und es ist auch FE $= \frac{1}{3}$ MN. Da nun die Dreiecke MON und EOF, außer den Scheitelwinkeln bei O, noch die Wechselwinkel OEF und OMN gemein haben: so sind sie einander ähnlich, und es ist EO : OM $=$ EF : MN. Da nun EF $= \frac{1}{3}$ MN, so ist auch EO $= \frac{1}{3}$ OM, und es ist folgendes Gesetz bewiesen:

W e n n m a n v o n d e r S p i t z e e i n e r d r e i e c k i g e n P y r a m i d e n a c h d e m S c h w e r p u n k t e i h r e r e n t g e g e n s t e h e n d e n G r u n d f l ä c h e e i n e g e r a d e L i n i e z i e h t , u n d i n d i e s e r R i c h t u n g $\frac{3}{4}$ v o n i h r n i m m t , s o f i n d e t m a n d e n S c h w e r p u n k t d e r P y r a m i d e.

Auf ähnliche Art läßt sich zeigen, daß der Schwerpunkt jeder vielseitigen Pyramide ebenfalls durch $\frac{3}{4}$

jener Linie bestimmt wird, welche die Spitze mit dem Schwerpunkte ihrer Grundfläche verbindet. Auch liegt der Schwerpunkt eines Kegels in $\frac{3}{4}$ seiner Achse von der Spitze gegen die Grundfläche hin.

Achtes Kapitel.

Fall der Körper auf schiefen Ebenen.

Nach den nöthigen Vorbegriffen wird das allgemeine Gesetz der verminderten Schwerkraft auf schiefen Ebenen entwickelt, und daran eine Reihe von Folgerungen geknüpft. Die Bestimmung der, durch den Fall auf schiefen Ebenen gewonnenen Endgeschwindigkeit und der dazu gehörigen Fallzeit, nebst einer Reihe von mancherlei Anwendungen davon macht sodann den Beschluß.

§. 1.

Vorbegriffe und allgemeines Gesetz der Verminderung der Schwere, nebst Folgerungen.

I. Wenn (Fig. 98.) NO die Horizontallinie bedeutet, und die Linie MO unter dem spitzen Winkel MON mit ihr verbunden ist, so nennt man MO eine schiefe Linie. Stellt NO die Horizontal-Ebene vor, so ist MO eine schiefe Ebene und man nennt MN ihre Höhe, MO ihre Länge, NO ihre Grundlinie, und den Winkel O ihre Neigung. Es befinde sich der rundliche Körper P, dessen Schwerpunkt in A ist, auf derselben bei D in Berührung, so stellt ACF die Direktionslinie des Schwerpunktes vor. Drückt nun AC die Größe und Richtung der Schwerkraft aus, so kann man um dieselbe

das Rechteck ADCE construiren, und die Kraft AC in die beiden äußern AD und AE auflösen. Da AD auf MC lothrecht steht, so wird dieser Druck durch die Gegenwirkung der Ebene aufgehoben; und die Kraft AE, mit MC gleichlaufend, drückt jenen Theil der Schwerkraft aus, womit der Körper P seinen Fall auf der Ebene beginnt. Hieraus folgt: daß sich die absolute Schwerkraft zur verminderten verhält, wie sich AC zu AE verhält. Nun sind die Dreiecke CAE und ACD congruent; das Dreieck ADC aber ist dem Dreiecke OCF, und dieses letztere dem Dreiecke OMN ähnlich. Daher ist auch das Dreieck AEC ähnlich dem Dreiecke MNO, und es verhält sich AC : AE = MO : MN, oder mit Worten: Auf der schiefen Ebene verhält sich die unverminderte Schwerkraft so zur verminderten, wie sich die Höhe dieser Ebene zu ihrer Länge verhält.

Da AD = EC jenen Antheil der Schwerkraft bestimmt, welcher als Druck auf die Ebene MO wirkt, aber AE : EC = MN : NO ist: so verhält sich die absolute Schwere des Körpers zu seinem Drucke auf die schiefe Ebene, wie sich ihre Höhe zu ihrer Grundlinie verhält. Nennt man die Höhe der schiefen Ebene h, ihre Länge l, so drückt der Bruch $\frac{h}{l}$ die Verminderung der Schwerkraft auf der schiefen Ebene aus. Wäre z. B. h = $\frac{1}{2}$ l, oder MN = $\frac{1}{2}$ MO, so würde die verminderte Schwere die Hälfte der unverminderten seyn, u. s. w.

II. Da dieser Bruch $\frac{h}{l}$ die Verminderung der Schwerkraft auf der schiefen Ebene ausdrückt; dieser Bruch aber, für eine und dieselbige Ebene, eine unveränderliche Größe ist: so folgt deutlich, daß der auf der schiefen Ebene herabfallende Körper in jedem Momente seines Falles eine gleiche Beschleunigung erhält. Daher muß dieser Fall mit einer gleichförmig beschleunigten Bewegung, je-

doch weit langsamer als beim freien Falle geschehen. Es folgt demnach, daß jene Gesetze, welche oben (III. Kap.) von dem freien Falle der Körper bewiesen wurden, nunmehr auch auf ihren Fall längs der schiefen Ebene anwendbar sind. Da aber dieser Fall weit langsamer statt findet; somit die Räume, welche in gleichen Zeiten beschrieben werden, weit größer sind, als eben diese in gleichen Zeiten beim freien Falle zurückgelegten Räume: so hat sich der bereits oben erwähnte Galilei der schiefen Ebene bedient, um durch sie die Gesetze des freien Falles der Körper zu bestätigen.

III. Setzt man den, beim freien Falle in der ersten Sekunde beschriebenen Normalraum von 15,625 rheinl. Fußen $= z$, so ist der in der ersten Sekunde auf der schiefen Ebene durchlaufene Raum $= \frac{hz}{l}$. Nennt man diesen Raum r, so ist $r = \frac{hz}{l}$. Wäre nun z. B. $\frac{h}{l} = \frac{1}{10}$, so würde $r = \frac{1}{10} z = 1{,}5625$ seyn, d. h. auf einer schiefen Ebene, deren Länge zehnmal so groß, als ihre Höhe ist, würde der Körper in der ersten Sekunde nur einen Raum von 1,5625 rheinl. Fußen zurücklegen.

Aus diesem Werthe für r entspringen nachstehende Formeln:

1. $h = \frac{rl}{z}$, ferner

2. $l = \frac{hz}{r}$, und endlich

3. $z = \frac{rl}{h}$; deren Bedeutung sehr leicht mit Worten ausgesprochen werden kann.

IV. Setzt man den Fallraum für mehrere Sekunden $= n$, bei dem freien Falle $= R$, und bei dem Falle auf der schiefen Ebene $= R'$; so wird, durch Anwendung der bekannten Gesetze von der gleichförmig beschleunigten Bewegung, $R' = n^2 \times \frac{hz}{l}$, woraus nachstehende Formeln fließen:

1. $n = \sqrt{\frac{R'l}{hz}}$, ferner

2. $l = \frac{n^2hz}{R'}$, sodann

3. $h = \frac{R'l}{n^2z}$, und endlich

4. $z = \frac{R'l}{n^2h}$; welche leicht mit Worten ausgedrückt und auch durch Zahlenbeispiele erläutert werden können.

V. Da $R = n^2z$ ist, so verhält sich
$R : R' = n^2z : \frac{n^2hz}{l} = n^2zl : n^2hz = l : h$,
d. h. der beim freien Falle durchlaufene Raum verhält sich zu dem auf der schiefen Ebene in der nämlichen Zeit zurückgelegten Raume, wie sich die Länge dieser Ebene zu ihrer Höhe verhält.

Nun sey BDC (Fig. 99.) die gegebene schiefe Ebene, und CE ein Loth von C auf BD: so sind die Dreiecke EBC und BCD einander ähnlich, und es ist DB : BC = BC : BE = l : h. Daher verhält sich auch der Fallraum im Freien zu jenem auf der schiefen Ebene in der nämlichen Zeit beschriebenen, wie sich BC : BE verhält, d. h. in der nämlichen Zeit, worin die Höhe BC beim freien Falle durchlaufen wird, beschreibt der Körper auf der Ebene den weit kleinern Raum BE. Dies gibt ein einfaches Mittel, um bei einer gegebenen schiefen Ebene den Punkt auf ihrer Länge, E, zu finden, welchen ein auf ihr herabfallender Körper in jener Zeit erreichen würde, in welcher er ihre Höhe frei durchfallen hätte. Das aus dem Scheitel des rechten Winkels auf die Länge der Ebene gezogene Loth bestimmt diesen Raum. — Auch ist es leicht, aus der gegebenen Länge BD, aus dem Raume BE und aus der Neigung D, die Höhe BC durch Construktion zu bestimmen.

§. 2.

Bestimmung der Endgeschwindigkeit und der Fallzeit, nebst Anwendungen davon.

I. Wenn man die durch den Fall auf der schiefen Ebene in einer Sekunde erlangte Endgeschwindigkeit $= g'$ setzt, so wird, nach bekannten Vordersätzen von der gleichförmig beschleunigten Bewegung, $G' = \frac{2nhz}{l}$, woraus man nachfolgende Formeln entwickeln kann.

1. $n = \frac{g'l}{2hz}$, ferner
2. $h = \frac{g'l}{2nz}$, sodann
3. $l = \frac{2nhz}{g'}$, und endlich
4. $z = \frac{g'l}{2nh}$; welche ebenfalls durch Worte ausgedrückt und die Zahlen erläutert werden können.

II. Da $g' = \frac{2nhz}{l}$, und nach (§. 1. IV.) $n = \sqrt{\frac{lR'}{hz}}$ ist, so wird $g' = \frac{2hz}{l} \times \sqrt{\frac{lR'}{hz}}$; worin die Endgeschwindigkeit durch die Höhe und Länge der schiefen Ebene, durch die Größe des auf ihr zurückgelegten Wegs und durch die Normalzahl z bestimmt ist. Setzt man nun in dieser Formel $l = R'$ d. h. will man die Endgeschwindigkeit des längs der schiefen Ebene herabgefallenen Körpers am Ende seiner Bahn finden, so wird $g' = \frac{2hz}{l} \times \sqrt{\frac{l^2}{hz}} = \sqrt{\frac{4h^2z^2l^2}{l^2hz}} = \sqrt{4hz} = 2\sqrt{hz}$.

Hieraus entstehen nachfolgende Formeln:

1. $\frac{g'^2}{4z} = h$, und

2. $\frac{g'}{4h} = z$, deren Bedeutung leicht zu entwickeln ist.

Sucht man nun die Endgeschwindigkeit, welche der Körper durch den freien Fall aus der Höhe der schiefen Ebene erhält: so ist, nach der bekannten Lehre vom freien Falle der Körper, $g = n \times 2z$, und $n = \sqrt{\frac{R}{r}}$; folglich wird hier $g = 2z \times \sqrt{\frac{R}{z}} = \sqrt{\frac{4z^2R}{z}} = \sqrt{4zR}$. Da aber, nach der jetzigen Annahme, $R = h$ ist, so wird $g = \sqrt{4hz} = 2\sqrt{hz}$; gerade wie vorhin, als der Körper längs der schiefen Ebene herabgefallen war.

III. Hierdurch ist folgender Satz bewiesen: Wenn ein schwerer Körper die Höhe einer schiefen Ebene frei durchfällt, oder wenn derselbe auf irgend einer schiefen Ebene von gleicher Höhe ihre ganze Länge durchläuft: so hat er in jedem dieser beiden Fälle am Ende seiner Bahn immer den nämlichen Grad von Endgeschwindigkeit erhalten. Es seyen (Fig. 100.) AC, AD und AE drei schiefe Ebenen von der nämlichen Höhe AB, so ist es, in Bezug auf die Größe der Endgeschwindigkeit, vollkommen einerlei: ob der Körper durch den freien Fall von A nach B, oder ob er von A nach C, oder von A nach D, oder von A nach E auf einer dieser schiefen Ebenen herabgefallen ist. Seine Endgeschwindigkeit in den Punkten B, C, D und E wird immer dieselbige seyn.

IV. Es werde (Fig. 101.) die Höhe AB in einer Zeit = 1 frei durchfallen: so wird auch, wenn BD lothrecht auf AC ist, der Raum AD in derselbigen Zeit zurückgelegt. Setzt man nun die, zum Durchlaufen der Länge AC nöthige Zeit = X, so ist, nach einem bekannten Satze von der gleichförmig beschleunigten Bewegung, $AD : AC = 1 : X^2$. Da nun $AD : AB = AB : AC$, so ist auch $AD : AC = AD : \frac{AB^2}{AD}$; weil $AC = \frac{AB^2}{AD}$ ist. Daher wird auch

AD : AC = $AD^2 : AB^2$. Da aber auch $AD^2 : AB^2 = AB^2 : AC^2$ ist, so wird $AB^2 : AC^2 = 1 : X^2$ oder AB : AC = 1 : X, woraus folgender Satz bewiesen ist:

Die Zeit des freien Falles durch die Höhe einer schiefen Ebene verhält sich zur Fallzeit durch ihre Länge, wie sich ihre Höhe zur Länge verhält.

Wäre z. B. die Länge 10 Mal so groß, als die Höhe, so würde der Fall durch jene 10 Mal so lange, als durch diese währen; die beschleunigende Schwerkraft wäre aber auf dieser Ebene nur $\frac{1}{10}$ von jener beim freien Falle, und der Körper würde mit diesem $\frac{1}{10}$ der absoluten Fallkraft in 10 Mal größerer Zeit eine gleiche Endgeschwindigkeit mit jenem gewinnen, welcher mit 10 Mal größerer Kraft die Höhe der Ebene in 10 Mal kürzerer Zeit frei durchfällt.

V. Wenn man sich die schiefen Ebenen (Fig. 100.) AC, AD und AE denkt, welche alle einerlei Höhe AB haben: so werden diese vier Räume AB, AC, AD und AE in Zeiten zurückgelegt, welche sich wie eben diese Linien, d. h. wie AB : AC : AD : AE verhalten.

Es seyen (Fig. 102.) AE und ED zwei, unter dem Winkel AED verbundene schiefe Ebenen: so hat der, längs AE herabfallende Körper in E eine Endgeschwindigkeit, welche er beim freien Falle durch AF erhalten hätte; und durch seinen Fall von E nach D muß er in D eine Endgeschwindigkeit erhalten, welche jener durch den freien Fall aus E in G gleich wäre. Folglich erhält der Körper durch seinen Fall auf der Winkellinie AED in D eine Endgeschwindigkeit, welche er durch den freien Fall von A nach B im Punkte B erlangt hätte. Eben dieses gilt auch von mehreren, unter Winkeln verbundenen schiefen Ebenen, wenn man von dem Stoße absieht, welcher in E bei dem Uebergange von der Ebene AE auf ED statt findet.

VI. Wenn (Fig. 103.) MND eine krumme, schiefe Fläche bedeutet, deren Höhe MB ist: so kann die krumme Linie MND, als zusammengesetzt aus sehr vielen kleinen geraden, unter stumpfen Winkeln ver-

bundenen Linien angesehen werden; und es ist klar, daß der längs derselben herabfallende Körper in D eine Endgeschwindigkeit erhalten wird, welche er durch den freien Fall aus der Höhe MB erhalten hätte. Da eben dieses von jeder andern krummen Linie gilt, welche die Punkte M und B verbindet, so ist überhaupt klar: daß die Endgeschwindigkeit eines von einer gewissen Höhe herabfallenden Körpers immer die nämliche sey, es mag derselbe lothrecht herabfallen, oder auf was immer für einem schiefen oder gekrümmten Wege sich von dieser Höhe herabbewegen.

Es sey (Fig. 104.) das Loth BD dem Lothe FE gleich, und BCE eine krumme Linie, welche die Punkte B und E mit dem in der Horizontallinie DF liegenden Punkte C verbindet: so muß der von B nach C herabfallende Körper in C eine Endgeschwindigkeit erhalten, wodurch er im Stande ist, den Bogen CE mit gleichförmig verminderter Bewegung zu durchlaufen. Wenn derselbe sich in E befindet, so hat er seine gesammte Bewegkraft verlohren, und wird nun wiederum von E nach C gleichförmig beschleunigt herabfallen, von C nach B gleichförmig vermindert emporsteigen, u. s. w. wodurch eine Bewegung ohne Ende (perpetuum mobile) entstände, wenn die Reibung und der Widerstand der Luft die bewegende Kraft nicht verminderte und hierdurch den Körper allmählich zur Ruhe brächte.

VII. Wenn man in dem aus V (Fig. 104. a.) mit VB beschriebenen Kreise den Durchmesser BC lothrecht auf die Horizontallinie DE, und sodann die willkührlichen Linien DNM, BOA und BPF zieht: so werden die Sehnen BN, BO und BP in der nämlichen Zeit von dem beweglichen Punkte durchlaufen, innerhalb welcher derselbe die senkrechte Höhe des Durchmessers BC frei durchfällt. Denn wenn die Geraden CN, CO und CP gezogen werden: so ist bekannt, daß die Winkel BNC, BOC und BPC rechte Winkel sind, wodurch die Richtigkeit der Behauptung

aus einem der oben (§. 1. V.) bewiesenen Sätze hervorgeht.

Auch ist klar, daß jede Sehne BC (Fig. 104. b.) ebenfalls in der nämlichen Zeit durchlaufen werde, in welcher der Durchmesser AC durch den freien Fall beschrieben wird. Denn wenn man durch B die BD mit AC, und durch C die CD mit AB gleichlaufend zieht, sodann die BC über C verlängert, bis das aus D auf BD errichtete Loth dieselbe in E schneidet: so wird, nach bekannten Sätzen, der Raum BC in der nämlichen Zeit durchlaufen, in welcher der Körper die Höhe BD frei durchfällt. Da aber ABDC ein Parallelogramm und somit BD = AC ist, so wird auch der Durchmesser AC in der nämlichen Zeit frei durchfallen, binnen welcher das Bewegliche von B nach C gelangt.

VIII. Es seyen (Fig. 105.) BC und bc zwei Horizontallinien, und die Figuren BADC und badc einander ähnlich: so verhält sich die Fallzeit durch AD zur Fallzeit durch DC, wie sich $\sqrt{AD} : \sqrt{DC}$ verhält. Da aber AD : DC = ad : dc, so ist auch $\sqrt{AD} : \sqrt{DC} = \sqrt{ad} : \sqrt{dc}$. Aber es verhält sich die Fallzeit durch ad zur Fallzeit durch dc, wie sich $\sqrt{ad} : \sqrt{dc}$ verhält. Folglich verhält sich auch die Fallzeit durch ADC zur Fallzeit durch adc wie $\sqrt{AD} : \sqrt{ad}$. Allein $\sqrt{AD} : \sqrt{ad} = \sqrt{AB} : \sqrt{ab}$. Daher verhält sich auch die Fallzeit durch ADC zur Fallzeit durch adc wie $\sqrt{AB} : \sqrt{ab}$; d. h. wenn ähnliche, gegen die Horizontallinie gleich geneigte Winkelbahnen vom beweglichen Punkte zurückgelegt werden, so verhalten sich die Fallzeiten durch dieselbe, wie die Quadratwurzeln der senkrechten Fallhöhen.

Hieraus folgt auch, daß die ähnlichen und ähnlich liegenden Kreisbogen AB und MN (Fig. 106.) in Zeiten durchlaufen werden, welche sich wie $\sqrt{CQ} : \sqrt{CP}$ verhalten. Da aber, wegen Aehnlichkeit der

Dreiecke CQA und CPM, die Proportionen CQ : CP = CA : CM statt findet, so verhält sich auch die Fallzeit durch AB zur Fallzeit durch MN, wie $\sqrt{CA}$: $\sqrt{CM}$.

Neuntes Kapitel.

Die Lehre von den Bewegungsgesetzen des Pendels.

Nach Bestimmung der nöthigen Vorbegriffe, werden die allgemeinsten Gesetze der Pendelschwingungen entwickelt, auf welche die Lehre vom zusammengesetzten Pendel folget. Von diesem wird der Uebergang zur Bestimmung der Länge des Secundenpendels gemacht, worauf endlich mehrere Anwendungen von den Bewegungen des Pendels gemacht werden.

§. 1.

Vorbegriffe und allgemeinste Gesetze der Pendelschwingungen.

I. Im Allgemeinen versteht man unter dem Pendel jeden Körper, welcher an einem Punkte aufgehängt und um denselben in Schwingungen versetzt werden kann. In diesem Sinne stellt z. B. ein langes, schmales Brett, an einem nahe bei seinem Ende befindlichen Punkte aufgehängt, oder ein Faden an dessen einem Ende sich irgend ein schwerer Körper befindet, und dessen anderes Ende irgendwo befestigt ist, einen Pendel dar. Sobald diese Körper aus ihrer ruhenden Lage in eine schiefe gebracht und sich selbst überlassen werden, so gerathen sie in mehrfache

Schwingungen. Diese Pendel werden auch physische genannt, weil hier wirkliche physische Körper in diese Schwingungsbewegungen gerathen. Unter dem mathematischen Pendel versteht man aber eine gerade, unbiegsame Linie ohne Schwere, mit einem ihrer Endpunkte als Aufhängepunkt befestigt, und mit der Annahme, daß ihr anderer Endpunkt ein von der Schwere afficirter Punkt sey. Es ist klar, daß dieses mathematische Pendel das einfachste ist, was man sich denken kann. Daher müssen auch die Gesetze seiner Bewegung zuerst entwickelt werden, ehe man die Anwendungen davon auf physische Pendel zu machen im Stande ist.

II. Nun sey CS (Fig. 107.) ein solches mathematisches Pendel, C sein Aufhängepunkt, CS seine Länge und S der schwere Punkt. Denkt man sich unter ST die Richtung und Kraft der Schwere, so ist klar, daß der Pendel CS in dieser lothrechten Lage unbewegt bleibe. Denn die Schwerkraft ST, in der Verlängerung von CS wirkend, wird vom Aufhängepunkt C vollkommen aufgehoben. Bringt man nun den Pendel CS in die schiefe Lage CA, so kann man die Schwerkraft AB = ST in die beiden äußern Kräfte AE und AD auflösen; wovon jene in der verlängerten Linie CA liegt, diese aber auf ihr senkrecht steht. Da AE unmittelbar auf C wirkt, so drückt diese AE jenen Theil der Schwerkraft aus, womit der Punkt C nach der Richtung AE gezogen wird. Da aber die Kraft AD ungehindert von A nach D wirksam ist, so muß das Pendel CA von A gegen D in Bewegung gerathen. Denkt man sich dasselbe in der Lage CL, in welcher die Schwerkraft LO = ST = AB ebenfalls einwirkt: so kann man diese Kraft LO in die äußern Kräfte LN und LM auflösen, wovon jene wieder in der verlängerten CL sich befindet, diese aber auf CL lothrecht ist. Jene stellt daher für diese Lage CL die Kraft dar, womit der Punkt C von L nach N gezogen wird. Diese aber drückt jenen Theil der Schwerkraft aus, welcher in dieser Lage CL auf den Punkt L erneuert einwirkt.

Da nun AD > LM ist, so folgt: daß der schwere Punkt A zwar stetig von der Schwerkraft afficirt werde, daß aber diese beschleunigende Kraft sich von A nach S hin allmählig vermindere, und in S selbst gänzlich verschwunden sey. Hieraus ist klar, daß die Bewegung des Pendels von A nach S zwar eine beschleunigte, jedoch eine solche sey, bei welcher die beschleunigende Kraft sich allmählig unstetig vermindert, bis sie in der senkrechten Lage CS gänzlich aufhört.

III. Wenn man von A und L auf CS die Lothe AF und LR auf CS zieht, so ist leicht zu beweisen: daß die Dreiecke BAD und ACF, so wie auch OLM und LCR einander ähnlich sind. Denn es ist Winkel BAF = Winkel DAC (weil jeder ein rechter ist) auch sind bei D und bei F rechte Winkel; folglich ist AB : AD = AC : AF. Auf gleiche Weise ist auch LO : LM = LC : LR. Nennt man die Lothe AF und LR die Abweichungslothe, so ist hieraus folgender Satz bewiesen:

> Bei geneigten Pendeln verhält sich die absolute Schwerkraft des schweren Punktes zu dem wirksamen Antheile derselben, wie sich die Pendellänge zu dem jedesmaligen Abweichungslothe verhält.

Da in der lothrechten Lage CS das Abweichungsloth gänzlich verschwindet, so ist auch in dieser Lage die beschleunigende Kraft der Schwere gänzlich verschwunden. Wenn nun das Pendel von A nach S auf diese Weise herabgefallen ist, so hat es in S eine Endgeschwindigkeit erhalten, womit dasselbe in der nämlichen Zeit den Bogen SQ = Bogen SA, mit verminderter Bewegung beschreiben wird. Dieses Aufsteigen von S nach Q geschieht aber nicht mit gleichförmig verminderter Bewegung; sondern mit einer verminderten Geschwindigkeit, bei welcher die vermindernde Kraft allmählig größer wird, bis sie in Q ihr größtes Maaß erreicht hat. Hieraus folgt, daß die Schwingungen durch ASQ und durch QSA ins

Unendliche fortwähren müßten, wenn kein anderes Hinderniß störend einwirkte. Der Widerstand der Luft und die Reibung bei dem Anhängpunkte C bringen aber alle physische Pendel, wenn sie auch dem mathematischen sehr ähnlich sind, endlich einmal zur Ruhe.

Man nennt den Winkel SCA, unter welchem das Pendel CS aus der lothrechten Lage in die schiefe CA gebracht wird, den Elongationswinkel, oder den Abweichungswinkel; die Bewegung durch den Fall von A nach S und durch das Steigen von S nach Q heißt ein einfacher Schwung; die Bewegung durch ASQ und wiederum zurücke durch QSA eine doppelte Schwingung. Wenn einfache oder doppelte Schwingungen mehrerer Pendel gleichzeitig sind, so werden diese Pendel selbst gleichzeitig oder isochronische genannt.

IV. Aus dem Bisherigen folgt, daß die Verminderung der Schwerkraft bei dem Falle des Pendels mit jener bei dem freien Falle auf einem ihm entsprechenden Kreisbogen denselbigen Gesetzen unterworfen ist. Denn wenn man sich die, unter stumpfen Winkeln verbundenen schiefen Ebenen AE, EF, FH (Fig. 108.) vorstellt, aus F die Lothe FM und FC, und aus E die Lothe EL und EB zieht: so vermindert sich die Schwerkraft auf AE nach dem Verhältnisse von AE zu AB; auf EF nach dem Verhältnisse von EF zu EL, und auf FH nach dem Verhältnisse von FH zu FM. Folglich steht diese Verminderung auf der ganzen Ebene AEFH im Verhältnisse von AEFH zu ABCD. Da sich aber jeder Kreisbogen als eine Verbindung von sehr vielen, unter sehr stumpfen Winkeln verbundenen schiefen Ebenen betrachten läßt, so folgt auch eben dieses Verhältniß für den Fall auf Kreisbögen.

V. Die Endgeschwindigkeiten zweier Pendel von einerlei Länge, welche unter verschiedenen Elongationswinkeln erhoben werden, verhalten sich wie die Quadratwurzeln der Lothe, welche aus den Pendelpunkten auf jene Linie gezogen wer-

den, welche durch den Endpunkt des in lothrechter Lage ruhenden Pendels senkrecht gezogen ist. Denn es sey BA (Fig. 109.) das lothrechte Pendel, und TAR die durch den Punkt A auf B lothrecht gezogene gerade Linie: so muß, wenn BA in die schiefe Lage BD gebracht und sich selbst überlassen wird, die durch den Bogen DA erhaltene Endgeschwindigkeit derjenigen gleich seyn, welche ein frei fallender Körper von E nach A oder von D nach L erhalten hätte; wenn DE das Loth auf BA, und DL jenes auf TA ist. Würde aber der Pendel BA in die Lage BC gebracht, und sich selbst überlassen: so müßte er durch den Fall von C nach A eine Endgeschwindigkeit erhalten haben, welche er auch durch den freien Fall von F nach A oder von G nach H erhalten hätte; wenn CF das Loth auf BA und CH jenes auf TA ist. Nun wurde aber bereits früher bewiesen, daß die, durch den freien Fall aus D nach L und aus C nach A, erworbenen Endgeschwindigkeiten sich wie die Quadratwurzeln dieser Fallräume verhalten. Folglich stehen auch die Endgeschwindigkeiten der durchlaufenen Bogen CA und DA in demselbigen Verhältnisse. Machte man z. B. den Bogen DA so groß, daß DL viermal so groß als CH würde, so wäre die durch jenen Bogen erworbene Endgeschwindigkeit noch einmal so groß, als jene durch den Bogen CA.

VI. Es sey AB (Fig. 110.) ein mathematischer Pendel, welcher einmal unter dem Elongationswinkel BAC, und sodann unter dem Winkel BAD, erhoben wird. Man soll die Endgeschwindigkeiten bestimmen, welche derselbe durch seinen Fall aus den Bogen CB und DB im Punkte B erhält.

Man beschreibe mit AB einen Kreis, verlängere BA nach G, ziehe die Sehnen BD und BC, GC und GD; und aus C und D die Lothe CF und DE auf AB. Nach dieser Konstruktion ist das Dreieck DEB dem Dreiecke BDG ähnlich, woraus die Proportion EB : BD = BD : BG und $EB = \frac{BD^2}{BG}$ folget. Auf gleiche Weise ist das Dreieck BCF dem Dreiecke

Dreiecke BGC ähnlich, und es verhält sich FB : BC = BC : BG, woraus $FB = \frac{BC^2}{BG}$ wird. Daher ist auch $FB : EB = \frac{BC^2}{BG} : \frac{BD^2}{BG}$, oder $FB : EB = BC^2 : BD^2$, woraus die Proportion $\sqrt{FB} : \sqrt{EB} = BC : BD$ folget. Da aber die im Punkte B erhaltenen Endgeschwindigkeiten, nach bekannten Vordersätzen, im Verhältnisse von $\sqrt{FB} : \sqrt{EB}$ stehen, so ist folgender allgemeiner Satz bewiesen:

Wenn ein Pendel unter verschiedenen Elongationswinkeln erhoben wird, so stehen die, durch den Fall erhaltenen Endgeschwindigkeiten im geraden Verhältnisse der Sehnen der durchlaufenen Bogen, d. h. die durch den Bogen CB erhaltene Endgeschwindigkeit verhält sich zu der durch den Bogen DB erhaltenen, wie sich die Sehne CB zur Sehne DB verhält. Wäre daher (Fig. 111.) die Sehne CB = 2 Sehne CD, so würde die Endgeschwindigkeit durch den Bogen BC noch einmal so groß, als jene durch den Bogen DC, seyn.

VII. Aus der Lehre vom Falle auf schiefen Ebenen ist bekannt, daß die Sehnen CB und DB (Fig. 110.) von dem schweren Punkte in einerlei Zeit durchlaufen werden. Nimmt man dieselben **sehr klein** an, so verhalten sie sich beinahe wie die ihnen zugehörigen Bogen; und es folgt hieraus, daß Pendel in sehr kleinen Kreisbogen, auch wenn diese an Größe um etwas weniges verschieden sind, dennoch gleichzeitige Schwingungen machen. Daher ist folgender Satz bewiesen: **Gleichlange Pendel, welche in sehr kleinen Kreisbogen schwingen, sind beinahe vollkommen gleichzeitige Pendel.**

Die Erfahrung stimmt auch damit überein, wie die Versuche mit physischen Pendeln lehren. Wie unbedeutend die Abweichung von obigem Gesetze sey, zeigt folgende Tabelle, worin ein Pendel von der Länge 3′8‴ (Par. Maaß) zum Grunde gelegt ist.

Größe des einfachen Schwunges		Tägliche Verzögerungen in Secunden.
0 Zoll 4 Linien	— —	0,1
0 " 8 "	— —	0,5
1 " 0 "	— —	1,0
1 " 4 "	— —	1,8
1 " 8 "	— —	2,8
2 " 0 "	— —	4,0
2 " 4 "	— —	5,5
2 " 8 "	— —	7,1
3 " 0 "	— —	9,0.

Betrüge z. B. der einfache Schwingungsbogen eines Pendels 1 Zoll, d. h. schwänge es auf jeder Seite von seiner lothrechten Lage um 6 Linien auf und ab: so wäre es im strengsten Sinne kein eigentliches Secundenpendel, da es in 24 Stunden um eine Secunde zurückbliebe.

VIII. **Wenn ungleich lange Pendel unter gleichen Elongationswinkeln erhoben und sich selbst überlassen werden: so stehen ihre Schwingungszeiten im geraden Verhältnisse der Quadratwurzeln ihrer Längen.**

Es seyen AD und AE (Fig. 112.) die beiden ungleich langen Pendel, welche (nach einander) unter dem nämlichen Elongationswinkel DAB = EAC erhoben werden: so sind die Kreisbogen BD und CE sowohl ähnlich gestaltet, als auch ähnlich liegend; und es ist bekannt, daß sich die Fallzeit durch BD zur Fallzeit durch CE verhalte, wie $\sqrt{MD} : \sqrt{NE}$. Nun ist aber, weil AB : AD = AC : AE, die BD mit CE gleichlaufend; folglich Winkel MDB = Winkel NEC. Daher sind die Dreiecke BMD und CNE einander ähnlich; und es ist MD : DB = NE : EC. Allein BD : BA = EC : CA. Folglich auch MD : NE = AB : AC, und $\sqrt{MD} : \sqrt{NE} = \sqrt{AB} : \sqrt{AC}$. Folglich verhält sich die Fallzeit durch den Bogen BD zu jener durch den Bogen CE wie sich $\sqrt{AB} : \sqrt{AC}$ verhält.

Wäre z. B. AC viermal so lang als AB, so würden die Schwingungen von AC (bei gleichem Elongationswinkel und gleicher Schwere) noch einmal so lange währen, als die Schwingungen von AB.

Nennt man diese Pendellängen L und l, die Schwingungszeiten T und t, so ist $\sqrt{L} : \sqrt{l} = T : t$; woraus man den Werth von L für eine gegebene Zeit T, auch den Werth von T für eine gegebene Länge L berechnen kann, wenn die übrigen Stücke bekannt sind. Auch folgt aus obiger Proportion noch diese: $L : l = T^2 : t^2$, woraus

1) $L = \frac{l \times T^2}{t^2}$, und

2) $T^2 = \frac{L \times t^2}{l}$ oder $T = \sqrt{\frac{L \times t^2}{l}}$, d. h.

$$T = t \times \sqrt{\frac{L}{l}}.$$

IX. Je schneller die Schwingungen eines gegebenen Pendels vollbracht werden, desto größer ist die Zahl seiner Schwingungen in einer bestimmten Zeit; d. h. die Schwingungszeit eines Pendels steht im verkehrten Verhältnisse mit der Anzahl der Schwingungen in einer gegebenen größern Zeit. Nennt man die Zahl dieser Schwingungen N und n, so ist $T : t = n : N$. Da nun $T : t = \sqrt{L} : \sqrt{l}$, so ist auch

1) $\sqrt{L} : \sqrt{l} = n : N$, d. h. die Quadratwurzeln der Pendellängen stehen im umgekehrten Verhältnisse der Zahl der Schwingungen in einer bestimmten Zeit; und

2) $L : l = n^2 : N^2$, d. h. die Pendellängen verhalten sich umgekehrt, wie die Quadrate der Anzahl der Schwingungen in einer bestimmten Zeit.

X. Im Bisherigen wurde die Kraft der Schwere, welche alle Pendel in Bewegung setzt, als vollkommen gleich bleibend, angenommen. Wird dieselbe als veränderlich betrachtet, so gilt folgendes Gesetz: Wenn gleichzeitige Pendel gleiche Elongationswinkel, aber verschiedene Län-

gen haben: so sind die auf sie einwirkenden Schwerkräfte verschieden, und stehen im geraden Verhältnisse der Pendellängen.

Wenn man bei der gleichförmig beschleunigten Bewegung die Räume S und s, die beschleunigenden Kräfte V und v nennt: so ist bekannt, daß $S : s = VT^2 : vt^2$. Dieses, auf Pendelschwingungen bei gleichen Elongationswinkeln angewendet, gibt — weil die hier durchlaufenen Räume ähnliche Kreisbogen, und im geraden Verhältnisse ihrer Halbmesser oder der Pendellängen sind — die Proportion $S : s = L : l$. Werden beide Proportionen verbunden, so erhält man $L : l = VT^2 : vt^2$, oder $\frac{L}{V} : \frac{l}{v} = T^2 : t^2$ Sollen nun die Schwingungszeiten beider Pendel gleich seyn, so wird hier $T^2 = t^2$; folglich auch $\frac{L}{V} = \frac{l}{v}$, woraus die Proportion, $V : v = L : l$, hervorgeht.

Wenn die Schwerkraft an allen Stellen der Erdfläche gleich groß wäre, so müßten auch alle gleichzeitige Pendel, welche unter gleichen Elongationswinkeln schwingen, genau von einerlei Länge seyn. Würden aber die Längen gleichzeitiger Pendel ungleich befunden, so wären es auch die Schwerkräfte auf der Erde; dem längern Pendel enspräche eine größere, dem kürzern eine kleinere Schwerkraft.

Aus dem Bisherigen folget: daß die Schwingungszeit der Pendel von drei Bedingungen abhängig sey:

1) Von der Größe des Elongationswinkels;
2) Von der Länge des Pendels, und
3) Von der wirkenden Kraft der Schwere.

XI. Da die Cycloide oder Radlinie in der Pendellehre von Wichtigkeit ist, so soll hier die Entstehung und Anwendung derselben wenigstens historisch beigebracht werden. Es sey AB (Fig. 113.) eine gerade Linie von willkührlicher Länge, welche irgend ein Kreis in A berührt. Wenn nun dieser Kreis sich dergestalt von A nach B bewegt, daß die Punkte sei-

nes Umfanges O, D, G, A, nach und nach in die Punkte V, T, E und R fallen: so beschreibt der Punkt A eine Curve APFQR, welche man Cycloide oder Radlinie nennt, weil sie jeder Punkt an der Oberfläche eines auf der Ebene fortrollenden Rades erzeugt. Den Kreis um CA nennt man den erzeugenden Kreis, den Punkt A den beschreibenden Punkt, den Punkt F den Scheitel, und die Linie AR die Grundlinie. Aus der Entstehung dieser Curve folgt: daß der Umfang des erzeugenden Kreises der Grundlinie gleich ist.

Es sey ABD (Fig. 114.) eine Cycloide, welche durch das Umrollen des Kreises FEBH entstand, so errichte man aus der Mitte von AD, d. h. aus F, das Loth BFC auf AD, und lege die halbe Cycloide AB von A nach C, die andere Hälfte DB aus D nach C. Befestigt man nun in C einen Faden von der Länge der halben Cycloide, oder des Halbkreises FEB, und denkt sich an seinem Ende den schweren Punkt P: so wird derselbe bei seinen Schwingungen einen Theil der Cycloide ABD durchlaufen. Nun läßt sich aus der (durch Hülfe der höhern Geometrie bestimmten) Natur dieser Curve beweisen:

> daß alle Pendelschwingungen, welche in der Cycloide geschehen, auch bei ganz verschiedenen Elongationswinkeln, dennoch genau gleichzeitig sind;

und darum hat Galiläi, welcher dieses zuerst gezeigt hatte, ihr den Namen tautochronische Linie gegeben.

§. 2.

Vom zusammengesetzten Pendel und vom Schwingungspunkte.

I. Wenn man sich an einem Pendel mehr als Einen schweren Punkt denkt: so ist derselbe ein zusammengesetzter. Der einfachste Fall hat bei dem Pendel AC (Fig. 115.) statt, wenn derselbe sowohl in B, als in C mit einem schweren Punkte ver-

sehen ist. Denkt man sich diesen Pendel in eine schiefe Lage gebracht, und sich selbst überlassen: so würde das kürzere Stück AB schnellere, der längere Theil AC aber langsamere Schwingungen machen; und es ist klar, daß, wenn die zwei schweren Punkte vereinigt auf den Pendel wirken, die Geschwindigkeit von B durch die Wirkung von C verringert, die Geschwindigkeit von C aber durch die Einwirkung von B vergrößert werde; und daß folglich der zusammengesetzte Pendel ABC Schwingungen von irgend einer mittlern Geschwindigkeit machen müsse. Daher gibt es zwischen C und B irgend einen Punkt D; so, daß der einfache Pendel von der Länge AD mit dem zusammengesetzten Pendel ABC gleichzeitige Schwingungen macht. Diesen Punkt D nennt man den **Mittelpunkt der Schwingung** oder den **Schwingungspunkt**. Man versteht daher überhaupt unter dem **Schwingungspunkte** eines zusammengesetzten oder physischen Pendels jenen Punkt, welcher eine solche Lage hat, daß seine Entfernung vom Aufhängepunkte die Länge eines einfachen Pendels bestimmt, welches mit dem gegebenen zusammengesetzten gleichzeitige Schwingungen macht; und die hier zu lösende Aufgabe ist: die Lage dieses Schwingungspunktes bei zusammengesetzten Pendeln zu finden.

II. Die gerade Linie CA (Fig. 116.) sey in B und in A mit einem schweren Punkte versehen, welche um den Aufhängepunkt in parallelen Kreisbogen schwingen; so muß der Punkt B langsamer, der Punkt A aber schneller bewegt werden, als wenn sich B oder A allein an einem Pendel CB oder CA befände, und der Schwingungspunkt O muß zwischen B und A fallen. Zieht man die gleichen Parallelen BG, OF, AE, ferner die gerade Linie CF, deren Verlängerung die über E verlängerte AE in D schneidet, und nimmt an, daß die Punkte B, O und A diese Linien in unendlich kleinen Zeiten beschreiben: so kann, während der Schwingungspunkt O die Linie OF durchläuft, der Punkt B nur den Raum BH durchlaufen; und wird also durch eine Kraft, B $\times$ GH zurückgehalten, da

die Räume hier auch das Verhältniß der Geschwindigkeiten bestimmen. Die Geschwindigkeit des Punkts A wird durch den Raum ED vermehrt, und somit durch die Kraft A × ED befördert. Die Kraft, welche B zurückhält, verhält sich also zu jener, welche A beschleunigt, wie B × HG : A × ED. Diese Kräfte wirken aber an den Enden der beiden Hebel CB und CA; daher verhalten sich ihre Wirkungen (nach der weiter unten zu entwickelnden Theorie des Hebels) wie CB × HG × B : CA × DE × A. Da nun diese Wirkungen einander gleich seyn müssen, so ist CB × HG × B = CA × ED × A, und es verhält sich CB × B : CA × A = ED : HG. Nun sind die Dreiecke HFG und DFE (weil sie gleiche Winkel haben) einander ähnlich. Daher ist DE : HG = EF : GF = AO : OB; folglich CB × B : CA × A = AO : OB, und CB × B × OB = CA × A × AO.

Daher ist folgender Satz bewiesen:

Wenn man bei einem zusammengesetzten Pendel jeden schweren Punkt mit seiner Entfernung vom Aufhängepunkte und vom Mittelpunkt des Schwunges multiplicirt: so erhält man zu beiden Seiten des Schwingungspunkts gleiche Produkte.

III. Nun befinden sich an dem Pendel ME (Fig. 117.) die schweren Punkte A, B, C, D, E; ihre Entfernungen vom Aufhängepunkte seyen, in der genannten Ordnung: a, b, c, d, e, und die Entfernung des Schwingungspunktes vom Aufhängepunkte sey = x. Auch seyen die Entfernungen a, b und c $<$ x; die Entfernungen d und e $>$ x.

Hier sind die Entfernungen der Punkte A, B, C, D und E vom Schwingungspunkte folgende:

die Entfernung	für	A	ist	= x — a
=	=	= B	=	= x — b
=	=	= C	=	= x — c
=	=	= D	=	= d — x
=	=	= E	=	= e — x

Wird jeder schwere Punkt mit seiner Entfernung vom

Aufhängepunkte und vom Schwingungspunkte multiplicirt, so erhält man

für A das Produkt $Aax - Aa^2$
„ B „ „ $Bbx - Bb^2$
„ C „ „ $Ccx - Cc^2$
„ D „ „ $Dd^2 - Ddx$, und
„ E „ „ $Ee^2 - Eex$

Da nun diese Produkte zu beiden Seiten des Schwingungspunktes gleiche Summen geben müssen, so wird $Aax - Aa^2 + Bbx - Bb^2 + Ccx - Cc^2 = Dd^2 - Ddx + Ee^2 - Eex$; woraus

$$x = \frac{Aa^2 + Bb^2 + Cc^2 + Dd^2 + Ee^2}{Aa + Bb + Cc + Dd + Ee}$$ wird.

Dies gibt die Regel:

In einem zusammengesetzten Pendel ist die Entfernung des Schwingungspunktes vom Aufhängepunkte dem Quotienten einer Division gleich, deren Dividend die Summe der Produkte aller schweren Punkte in die Quadrate ihrer Entfernungen vom Aufhängepunkte, und deren Divisor die Summe der Produkte aller dieser Punkte in ihre Entfernungen vom Aufhängepunkte ist.

IV. Die höhere Mechanik beweiset noch folgende Resultate:

1) Eine cylindrische, durchaus mit einerlei Materie gleichförmig erfüllte Stange AB (Fig. 118.) hat ihren Schwingungspunkt in D; so, daß $AD = \frac{2}{3} AB$ ist. Daher wird der mathematische Pendel $MN = \frac{2}{3} AB$ mit dem physischen Körper AB unter gleichen Elongationswinkeln gleichzeitige Schwingungen machen.

2) Wenn an einem Faden von unmerkbarem Gewichte sich eine mit gleichartiger Materie erfüllte Kugel befindet, so liegt der Schwingungspunkt dieses Pendels unter ihrem Mittelpunkte, um $\frac{2}{5}$ des Quotienten; welchen man findet, wenn das Quadrat ihres Radius mit der Entfernung ihres Schwerpunktes vom Aufhängepunkte dividirt wird. Nennt man je-

nen Radius r, diese Entfernung d, so ist der Abstand des Schwingungspunkts unter dem Mittelpunkte der Kugel $= \frac{2}{5} \times \frac{r^2}{d}$.

Bei einer Kugel von 1 Fuß Durchmesser (Par.) deren Schwerpunkt 440 Linien vom Aufhängepunkte entfernt ist, liegt der Schwingungspunkt um 4,712 Linien unter ihrem Mittelpunkte. Hätte die Kugel einen Durchmesser von 2 Zoll, so befände er sich 0,13 Linien, und hätte sie nur 1 Zoll im Durchmesser, so wäre er 0,033 Linien darunter. Denkt man sich ein Metallkügelchen, dessen Durchmesser etwa nur 2 Linien beträgt, an einem sehr zarten Hanffaden aufgehängt: so ist dieses Pendel zwar immer noch ein zusammengesetztes; allein sein Schwingungspunkt fällt mit dem Mittelpunkte der kleinen Kugel so nahe zusammen, daß man die Entfernung dieses Mittelpunkts vom Aufhängepunkte ohne bedeutenden Fehler für die Länge des gleichzeitigen mathematischen Pendels annehmen kann.

§. 3.

Begriff und Bestimmung des Secundenpendels, nebst Anwendungen der Pendellehre.

I. Ein Pendel, welches einen Schwung ganz genau in einer Secunde macht, heißt ein Secunden-Pendel, dessen Länge auf folgende Weise bestimmt werden kann. Man hänge eine massive Kugel an einem dünnen, ungezwirnten Faden auf, und berechne die Entfernung ihres Schwingungspunkts vom Aufhängepunkte. Nun lasse man dieses Pendel an einem Orte ohne Luftzug, bei mittlerer Wärme in sehr kleinen Bogen schwingen, und zähle dessen einfache Schwingungen binnen einer, durch eine sehr gute Secundenuhr auf das Genaueste bestimmten Zeit. Hätte nun zufällig das Pendel in 100 Secunden auch 100 Schwingungen gemacht, so wäre es ein Secunden-Pendel. Machte es aber in dieser Zeit mehr oder weniger Schwingungen, so müßte es entweder

um etwas verlängert oder verkürzt werden, damit es genau Secunden schlüge. Daher dividire man die bei der Beobachtung verflossene Zahl der Secunden, mit der vom Pendel beschriebenen Anzahl von Schwingungen, so bestimmt der Quotient die Schwingungszeit für ein einfaches Pendel von bekannter Länge. Da sich nun (nach früheren Sätzen) die Quadrate der Schwingungszeiten gerade wie die Pendellängen verhalten, oder da $T^2 : t^2 = L : l$ ist: so kann man hieraus, durch einfache Rechnung, die Länge jenes mathematischen Pendels bestimmen, welches in einer Secunde einen einfachen Schwung macht. Wird dieser Versuch mit Pendeln von verschiedener Länge öfters und immer mit Genauigkeit wiederholt, und aus allen diesen Resultaten das arithmetische Mittel genommen: so wird dieses die Länge des einfachen Secundenpendels um so richtiger darstellen.

II. Soll man aber die Länge des einfachen Secundenpendels im leeren Raume und bei ruhender Erde bestimmen, so müssen noch einige Korrektionen angebracht werden, und zwar

1) Wegen des Widerstandes der Luft. Da nämlich die atmosphärische Luft den Bewegungen des Pendels hinderlich ist, indem sie jedes Mal aus ihrer Stelle vertrieben wird, so müssen die Pendelschwingungen allmählig kleiner werden, bis das Pendel endlich zur Ruhe kömmt. Hierdurch wird die Zeit des Herabfallens etwas verlängert, jene des Emporsteigens aber wiederum so verkürzt, daß Beides sich gegenseitig aufhebt. Aber vermöge der hydrostatischen Wirkung der Luft wird das Pendel mit geringerer Schwerkraft, als im leeren Raume bewegt; welche Verminderung von dem Verhältnisse der specifischen Gewichte der Luft und der Materie des Pendels abhängt. Daher muß man zu der nunmehr gefundenen Länge des Secundenpendels ein Stückchen addiren, welches durch den Bruch $\frac{s}{S}$ ausgedrückt wird, worin s und S die eben bemerkten specifischen Gewichte bedeuten.

2) Wegen der Wirkung der Centrifugalkraft auf der Erde. Da die Schwungkraft unter dem Aequator am Größten ist, und gegen Norden und Süden hin allmählig abnimmt: so wird die Schwerkraft unter dem Aequator durch sie die größte Verminderung, gegen die Pole aber eine allmählig geringere erleiden. Dieses bestätigten schon im Jahre 1672 die Versuche der französischen Naturforscher. Denn Richer mußte zu Cayenne, in einer Breite von 1 Grad 56 Minuten, sein Pendel, welches zu Paris Secunden schlug, um $1\frac{1}{4}$ Linien verkürzen, damit es ebenfalls ein Secundenpendel war; in den Polargegenden mußte es aber verhältnißmäßig verlängert werden. Will man also die Länge des Secundenpendels bei ruhender Erde bestimmen, so muß der Bruch $\frac{1}{289}$, welcher das Verhältniß der Schwungkraft zur Schwerkraft unter dem Aequator andeutet, mit dem Quadrate des Cosinus der geographischen Breite des Beobachtungsortes multiplicirt; und dieses Produkt zur berechneten Länge des Secundenpendels addirt werden.

III. Die Wärme, welche alle Körper ausdehnt, hat auch bedeutenden Einfluß auf die Bewegungen des Pendels; welches, wenn es z. B. aus einer Metallstange und metallenen Kugel besteht, durch die Sommerwärme etwas verlängert, und im Winter wiederum verkürzt wird. Jenes bewirkt langsamere, dieses aber schnellere Schwingungen. Um diesen nachtheiligen Einfluß zu beseitigen, hat man die sogenannten Kompensationspendel erfunden, welche folgende Einrichtung haben: Die Stahlstange CB (Fig. 119.), welche die Metalllinse O trägt, besteht aus den zwei getrennten Stücken CN und AB. Ihr oberer Theil CN ist an einem von zwei messingenen Querstücken DF und EG, und von zwei Stahlstäben DE und FG gebildeten Vierecke befestigt. Der untere Theil AB ist mit dem kleinen messingenen Querstücke KH verbunden, und kann sich durch eine, in der Mitte von EG angebrachte Oeffnung leicht und frei bewegen; KL und HI sind zwei Messingstangen, auf EG

befestigt, und in K und H mit dem Querstücke KH verbunden. Wenn nun die Wärme diese Metalle ausdehnt, so verlängert sich die Pendelstange CAB, und die Linse O entfernt sich hierdurch vom Aufhängepunkte c. Aber zu gleicher Zeit verlängern sich auch die beiden Messingstäbe KL und HI mehr, als die beiden Stahlstäbe DE und FG. Da nun hierdurch das Querstück KH um etwas emporsteigen muß: so nähert sich das Gewicht O dem Punkte C wiederum. Damit dieses aber gleichmäßig geschehe: so muß sich die Länge einer Messingstange zur Länge einer Stahlstange verhalten, wie sich die Ausdehnung des Stahls durch die Wärme zu der des Messings verhält; d. h. beinahe wie 3 : 5.

IV. Vorzüglich interessant ist die Anwendung des Pendels zur Verbesserung der Uhrwerke. Huygens war der Erste, welcher im Jahre 1656 diese Anwendung machte, und hierdurch der Erfinder der Pendeluhren, oder der Perpendikeluhren geworden ist. Er brachte an dem Uhrwerke eine eiserne, mit Gewicht versehene Pendelstange an, und befestigte ihr oberes Ende an eine mit zwei schiefstehenden Plättchen versehene Spindel. Wenn nun das Pendel hin und her schwingt: so werden diese Plättchen ebenfalls hin und her bewegt, und greifen hierdurch in die Zähne des letzten Uhrrades so ein, daß sie bei jedem Pendelschwunge nur einen einzigen Zahn dieses Rades forttreiben. Diese Bewegung des Pendels und mit ihr des ganzen Uhrwerks müßte bald zur Ruhe kommen, wenn nicht durch Federkraft oder Gewicht immer wieder neue Bewegung ertheilt würde, um dem Pendel so viel Kraft zu geben, als es durch die störenden Hindernisse der Bewegung verloren hat. Hierdurch ist der Gang der Uhren weit gleichförmiger geworden.

V. Die weiter ausgeführte Lehre vom Pendel beweiset folgenden Satz: das Quadrat der Schwingungszeit des Pendels verhält sich zum Quadrate der Ludolphischen Zahl (d. h. zu $3,1415^2$, wie sich die halbe Länge

des Pendels zu jenem Raume verhält, welchen der frei fallende Körper in der ersten Sekunde zurücklegt. Nennt man die Schwingungszeit T, die Ludolphische Zahl π, die Pendellänge L, und die Fallhöhe in der ersten Sekunde A, so ist $T^2 : \pi^2 = \frac{L}{2} : A$. Diese Proportion dienet dazu, um aus den drei ersten Gliedern die Größe des Fallraums in der ersten Sekunde zu finden. Wenn man nämlich die halbe Länge des für den Beobachtungsort berechneten Sekundenpendels mit dem Quadrate der Ludolphischen Zahl multiplicirt, so gibt das Produkt diesen primitiven Fallraum. Nach Mairan ist die Länge des einfachen Sekundenpendels zu Paris = 440,57 Linien. Multiplicirt man diese mit dem Quadrate von π, so gibt das Produkt eine Fallhöhe von 2174,07 Par. Linien, welche mit der bekannten Zahl von 15,625 rhnl. Fuß sehr genau übereinstimmt.

VI. Wäre unsere Erde, als beinahe kugelförmig gestaltet, ohne Achsendrehung, so müßte die Schwerkraft auf allen Punkten ihrer Oberfläche dieselbige seyn, und gleichzeitige Pendel würden bei jedem Grade geographischer Breite genau von einerlei Länge seyn. Nun lehrten Beobachtungen und Rechnungen, daß die Länge des einfachen Sekundenpendels unter dem Aequator an der Meeresfläche = 439,21 Par. Linien = 454,48 rheinl. Linien; zu Paris, in der Breite von 48°,50 = 440,57 Par. Lin. = 455,89 rheinl., zu Leyden, unter der Breite von 52°9′ = 440,71 Par. Lin. = 456,07 rheinl., endlich zu Pello in Lappland in der Breite von 66°48′ = 441,27 Par. Lin. = 456,61 rheinl. gewesen ist; woraus man auf eine verhältnißmäßige Zunahme der Schwerkraft vom Aequator gegen die Pole hin schließen kann. Diese Zunahme der Schwere ist eine Folge von dem täglichen Umschwunge der Erde um ihre Achse; wodurch die Schwungkraft, als der Schwerkraft entgegen wirkend, der letztern unter dem Aequator den größten, und nach den Polen zu einen immer geringern Abbruch thut. Die Schwerkraft ist daher unter

dem Aequator am Kleinsten, bei den Polen am Stärksten, und in mittlern Breitegraden von mittlerer Größe. Nur die feinen Pendelversuche konnten dieses anschaulich machen, und liefern somit einen direkten Beweis über die wirkliche Achsenbewegung der Erde.

VII. Außer diesem haben die angestellten Versuche gelehrt, daß Pendel auf hohen Bergen, wenn sie mit Pendeln in niedrigen Gegenden gleichzeitig schwingen sollen, um etwas weniges verkürzt werden müssen; woraus die Verminderung der Schwerkraft bei zunehmenden Höhen folget. Da nun durch die Achsendrehung der Erde die Aequatorial-Gegenden mehr erhaben, die Polargegenden mehr abgeplattet wurden: so liegt hierin der wahrscheinliche Grund, aus welchem gleichzeitige Pendel gegen den Aequator hin, auch nach der vorhin bemerkten Correktion wegen der Centrifugalkraft, dennoch etwas kürzer seyn müssen, als nach den Polen zu. Nach Bouguer war die Länge des einfachen Sekundenpendels unter dem Aequator in der Höhe von 2434 Toisen = 36″ 6,7‴; in der Höhe von 1466 Tois. = 36″ 6,83‴ und an der Meeresfläche = 36″ 7,07‴. Nach gehöriger Berichtigung sind diese Längen: 36″ 6,69‴; ferner 36″ 6,88‴ und 36″ 7,21‴.

VIII. Nachdem die Bewegungsgesetze des Pendels erfunden waren, gerieth Huygens auf den, zwar sinnreichen, jedoch nicht durchaus brauchbaren Gedanken: die Länge des Sekundenpendels zu einem allgemeinen Fußmaaße vorzuschlagen. Da er diese Länge etwas weniges mehr, als 3 Par. Fuße fand: so sollte ihr dritter Theil die Größe des Fußes seyn. Da aber spätere Versuche gelehrt haben, daß die Länge des Sekundenpendels in verschiedenen Breiten verschieden sey, so wäre auch die Größe des Fußes dieser Veränderlichkeit unterworfen gewesen. Aber für einen und denselbigen Ort könnte man die Größe des Fußes auf diese Weise bestimmen.

Der

Grundlehren der Physik und Mechanik

Drittes Buch.

Die Statik und Mechanik.

Drittes Buch.

Die Statik und Mechanik.

Erstes Kapitel.

Vom einfachen und zusammengesetzten, mathematischen und physischen Hebel.

Die Lehre vom mathematischen Hebel ist die Grundlage der gesammten Statik. Daher wird zuerst der Begriff und die Eintheilung dieses Hebels entwickelt, hierauf folgt das so wichtige Gesetz vom Gleichgewichte der Kräfte am Hebel, sodann werden die Lehren vom mathematischen Hebel auf den physischen angewendet, und die Wirkung der zusammengesetzten Hebel bestimmt; woran sich mehrere, für Theorie und Praxis gleich wichtige Aufgaben anschließen.

§. 1.

Begriff und Arten des Hebels. Gesetz des Gleichgewichts an demselben.

I. Wenn man sich eine mathematische Linie ohne Biegsamkeit und Schwere dergestalt von zwei oder mehreren entgegengesetzt wirkenden Kräften afficirt denket, daß sie sich um einen festen Punkt ungehindert drehen kann, so nennt man dieselbe einen mathematischen Hebel; z. B. die gerade Linie ABC (Fig. 120.) welche sich um den Punkt B drehen kann, und

in deren Enden A und C die beiden Kräfte P und Q nach entgegengesetzter Richtung wirksam sind.

Wenn man sich anstatt der mathematischen Linie irgend einen physischen Körper z. B. die Stange KCA (Fig. 121.) vorstellt, welche sich um den Punkt C so bewegen kann, daß durch Einwirkung der Kraft in K die Last L gehoben wird: so ist dieses ein physischer Hebel.

II. Man unterscheidet dreierlei Arten des Hebels. Der Hebel der ersten Art hat seinen Unterstützungs- oder Bewegungspunkt zwischen den beiden Kräften, welche entweder in gleichen oder in ungleichen Entfernungen von demselben wirken. Ein solcher Hebel ist ABC (Fig. 122.) an welchem B die Unterlage oder der Drehpunkt, AC die Hebellänge, BA und BC ein Arm des Hebels, P und Q die wirksame Kraft ist. Man nennt diesen Hebel auch den doppelarmigen.

Praktische Beispiele dieser Art des Hebels sind: 1) die Wagen. Bei der gewöhnlichen Krämerwage befindet sich der Bewegpunkt gerade in der Mitte; bei der römischen Wage oder Schnellwage aber befindet sich derselbe in geringer Entfernung von der Schale. 2) die Scheeren und Zangen. Hier ist der Bewegpunkt in der Achse, die Kraft befindet sich an den Handhaben, die Last aber ist der Zusammenhang des zu zerschneidenden Körpers. Daher befindet sich Kraft und Last auf entgegengesetzten Seiten des Bewegpunktes. 3) Die sogenannten Hebebäume, wie (Fig. 121.) wo sich die Kraft in K, die Last in A und der Bewegpunkt zwischen beiden in C befindet. Da der Zweck des Hebels gewöhnlich die Bewegung irgend einer Last ist, so nennt man dasjenige, wodurch diese Bewegung veranlaßt wird, die Kraft, jene Gegenkraft aber die Last, und sagt, daß sich an jedem Hebel die Kraft und die Last in gegenseitiger Wechselwirkung befinden.

III. Wenn sich die Last zwischen der Kraft und dem Drehpunkte befindet: so heißt der Hebel ein einarmiger, oder ein Hebel der zweiten Art;

z. B. DEF (Fig. 123.) wo D den Ruhepunkt, L die Last, K aber die wirksame Kraft bedeutet. Da die Last von E nach L, die Kraft aber von F nach K wirkt, so können sich beide das Gleichgewicht halten.

Solche Hebel der zweiten Art sind: 1) die Schubkarren. Der Bewegpunkt ist da, wo das Rad den Boden berührt; die Kraft befindet sich am Ende der Handhaben, die Last aber wirkt zwischen beiden. 2) Stellt jeder Thorflügel einen solchen Hebel vor. Sein Drehpunkt ist in den Angeln, die Kraft wirkt am entgegengesetzten Ende, und die Last, welche in dem Schwerpunkte vereinigt ist, befindet sich zwischen beiden. 3) Ein Schiff, welches vermittelst eines quer liegenden Ruders bewegt wird. Die Kraft wirkt am einen Ende des Ruders; der Bewegpunkt ist da in dem Wasser, wo sich die Fläche des Ruders gegen dasselbige anstemmt; die Last aber ist der Widerstand, welchen das Wasser dem fortschreitenden Schiffe entgegen stellt.

IV. Wenn die Kraft zwischen dem Bewegpunkte und der Last angebracht ist, so heißt der Hebel von der dritten Art, welcher ebenfalls ein einarmiger ist; z. B. MNS (Fig. 124.) wobei der Drehpunkt in M, die Kraft in N nach NK, die Last aber in S nach SL wirksam ist.

Hebel der dritten Art sind: 1) alle Schippen, Schaufeln, Sensen, u. dgl.. Der Sand z. B. welcher mit der Schippe wegzuschöpfen ist, bildet die Last und befindet sich am Ende des Hebels. Am andern Ende ist der Ruhepunkt oder Drehpunkt, und in der Hand zwischen beiden ist die wirksame Kraft. 2) Wenn man eine Last mit ausgestrecktem Arme trägt, so bildet der Arm einen Hebel der dritten Art. Die Last ist am äußersten Ende, der Drehpunkt im Gelenke der Schulter, die Kraft aber zwischen beiden angebracht. 3) Bilden unsere Beine und Finger ebenfalls solche Hebel der dritten Art.

V. Um das für die Statik und Mechanik so wichtige Gesetz für das Gleichgewicht der Kräfte am Hebel zu entwickeln, bemerke man Folgendes. Es

sey BOD (Fig. 125.) ein gleicharmiger Hebel der ersten Art; in B wirke die Kraft P, in D aber die Kraft Q. Auch sey P = Q, so müssen sich beide Kräfte im Gleichgewichte halten. Denn auf der einen Seite dieses Hebels ist alles gerade eben so, wie auf der andern. Sollte daher der Hebel etwa bei B steigen oder sinken, so müßte er, aus gleichem Grunde, auch bei D steigen oder sinken. Beides zugleich aber ist nicht möglich. Daher wird weder B noch D in Bewegung gerathen und der ganze Hebel bleibt in Ruhe. Da die Unterlage O sowohl P als Q zu tragen hat, so ist die Wirkung auf sie = 2P = 2Q. Brächte man nach der Richtung OK eine Kraft K an, so müßte auch diese = 2P = 2Q seyn, um das Gleichgewicht zu erhalten.

Nähme man die Kraft P von B weg, und brächte statt ihrer (Fig. 126.) eine Ueberlage in B an, welche das Emporsteigen des Punktes B verhinderte: so müßte auch nun der Hebel BOD in vollkommener Ruhe bleiben, da diese Ueberlage B mit der nämlichen Kraft zurückwirkt, womit das Hebelende B gegen sie selbst einwirkt. Diese Einwirkung ist aber der weggenommenen Kraft P gleich; folglich muß auch die Gegenwirkung der Ueberlage eben so groß seyn, und alles bleibt in Ruhe. Da nun der Hebel BOD ein Hebel der zweiten Art ist, wobei K = 2Q und BD = 2BO: so ist bewiesen, daß am Hebel der zweiten Art die einfache Kraft in der doppelten Entfernung mit der doppelten Kraft in der einfachen Entfernung das Gleichgewicht hält.

VI. Nun sey CBD (Fig. 127.) ein solcher Hebel der zweiten Art, worin CD = 2CB und + K = 2Q ist, so muß zwischen + K nd Q Gleichgewicht seyn. Wird nun BC nach A so verlängert, daß CA = CB; und in A eine Kraft P = 2Q, in B aber eine Kraft — K = + K angebracht: so müssen sich an dem Hebel ACBD die vier Kräfte + K und Q, P und — K das Gleichgewicht halten. Denn + K befindet sich am Hebel CBD mit Q; P

aber am gleicharmigen Hebel ACB mit — K im Gleichgewichte. Da aber die Kräfte + K und — K nach entgegengesetzter Richtung und mit gleicher Stärke auf den Punkt B wirken, so heben sie sich einander auf, und können beide als nicht vorhanden betrachtet werden. Daher sind auch am Hebel ACD die Kräfte P und Q im Gleichgewichte. Da aber CD = 2CA, und P = 2Q ist: so steht auch am Hebel der ersten Art die einfache Kraft in der doppelten Entfernung mit der doppelten Kraft in der einfachen Entfernung im Gleichgewichte. Die Unterlage C erhält einen Druck von P + Q = 3Q; und wenn aus C eine Kraft lothrecht auf AD nach oben wirkte, welche = 3Q ist, so müßte sie den ganzen Hebel in Ruhe erhalten. Nimmt man die Kraft P in A weg, und bringt statt ihrer (Fig. 128) die Ueberlage A an, welche denselbigen Widerstand, und somit auch dieselbige Wirkung auf den Hebel äußert: so muß dieser Hebel ACD noch in vollkommener Ruhe bleiben. Es ist aber nunmehr ein Hebel der zweiten Art geworden, worin AD = 3AC und K = 3Q ist. Daher befindet sich am Hebel der zweiten Art die einfache Kraft in der dreifachen Entfernung mit der dreifachen Kraft in der einfachen Entfernung im Gleichgewichte.

VII. Nun sey wieder CDF (Fig. 129.) ein Hebel der zweiten Art, woran CF = 3CD und + K = 3Q, so müssen sich diese Kräfte im Gleichgewichte halten. Wird nun DC nach A verlängert, so daß CA = CD; und in A eine Kraft P = + K, in D aber eine nach unten wirkende Kraft — K = + K angebracht: so muß an dem gleicharmigen Hebel ACD die Kraft P mit — K im Gleichgewichte seyn. Da aber auch am Hebel CDF die Kraft + K der Kraft Q das Gleichgewicht hält, so sind die vier Kräfte P, — K, + K und Q am Hebel ACF im Gleichgewichte. Da aber + K und — K sich gegenseitig aufheben, so muß am Hebel ACF zwischen P und Q Gleichgewicht bestehen. Daher ist auch am He-

bel der ersten Art die einfache Kraft in der dreifachen Entfernung mit der dreifachen Kraft in der einfachen Entfernung im Gleichgewichte.

Auch ist klar, daß die Unterlage C einen Druck $= P + Q = 4Q$ erleidet, und daß eine Kraft $= 4Q$ von C auf AF lothrecht nach oben wirken muß, um den ganzen Hebel in Ruhe zu halten.

Nimmt man die Kraft P in A hinweg, und setzt statt ihrer (Fig. 130.) die Ueberlage in A, so muß diese mit der weggenommenen Kraft dasselbige leisten; und das Gleichgewicht zwischen K und Q wird noch am Hebel der zweiten Art ACF fortbestehen. Da aber $K = 4Q$ und $AF = 4AC$ ist, so hält am Hebel der zweiten Art die einfache Kraft in der vierfachen Entfernung der vierfachen Kraft in der einfachen Entfernung das Gleichgewicht.

VIII. Aus dieser Darstellung geht hervor, daß man auf ähnliche Weise von einer Hebelart zur andern fortschreiten, und das Gleichgewicht der Kräfte für jedes Verhältniß ihrer Entfernung von $1 : n$ beweisen kann, wodurch folgendes Gesetz entsteht:

Am Hebel jeder Art muß Gleichgewicht seyn, wenn die einfache Kraft in der $n$fachen Entfernung, die $n$fache Kraft aber in der einfachen Entfernung an ihm wirksam ist.

Diese Entwickelung setzte voraus, daß die Größe des einen Hebelarmes in jener des andern genau ohne Rest enthalten ist, was nicht immer statt findet. Es sollen daher (Fig. 131.) die Entfernungen AB und BC im Verhältnisse von $n : m$ stehen: so daß n in m nicht ohne Rest enthalten ist. Man soll beweisen, daß zwischen P und Q Gleichgewicht besteht, wenn $P : Q = BC : AB = m : n$ ist. Es sey $BD = BE$ die Einheit, welche sowohl in BA als in BC ohne Rest aufgeht: so ist am Hebel DBC Gleichgewicht zwischen R und Q, wenn $R : Q = BC : BD = BC : 1$ ist, woraus $R = Q \times BC$ wird. Ferner ist am Hebel ABE zwischen S und P Gleichgewicht,

wenn S : P = AB : BE = AB : 1 ist; woraus S = P × AB wird. Da nun aus der zum Grunde gelegten Proportion P : Q = BC : BA die Gleichung P × BA = Q × BC folget: so ist auch unter dieser Bedingniß S = R, und beide stehen am Hebel DBE, weil DB = EB, im Gleichgewichte. Daher muß auch am Hebel ABC zwischen P und R und zwischen Q und S Gleichgewicht seyn. Da aber R und S am Hebel DBE im Gleichgewichte stehen, so kann man beide wegnehmen, und es bleibt am Hebel ABC zwischen P und Q unter der Bedingung Gleichgewicht, daß P : Q = BC : BA ist.

Wäre das Verhältniß von AB : BC ein Irrational-Verhältniß (z. B. das Verhältniß der Seite eines Quadrates zu dessen Diagonale) so nähme man $\frac{1}{2}$ AB als Maaß von AB und BC. Geht es in BC nicht ohne Rest auf, so muß dieser Rest kleiner, als $\frac{1}{2}$ AB seyn. Man nehme daher $\frac{1}{4}$ AB zum Maaße, so ist, wenn in BC ein Rest bleibt, dieser Rest wieder kleiner, als $\frac{1}{4}$ AB. Auf diese Weise kann man $\frac{1}{8}$ AB, $\frac{1}{16}$ AB, $\frac{1}{32}$ AB, $\frac{1}{64}$ AB... $\frac{1}{2^n}$ zum Maaße nehmen, und wenn in BC ein Rest bleibt, so muß dieser kleiner, als $\frac{1}{2^n}$ AB seyn. Da aber $\frac{1}{2^n}$ AB kleiner, als irgend eine denkbare Linie werden kann, so muß es auch der Rest werden, welcher beim Ausmessen von BC übrig bleibt. Daher ist dieser = 0, und man kann das Verhältniß von AB : BC, ohne irgend einen merkbaren Fehler, wie ein Rational-Verhältniß ansehen, wo denn nun der frühere Beweis (V - VII.) wieder eintritt. Hierdurch ist folgendes Grundgesetz der Statik bewiesen:

> Wenn irgend ein Hebel von zwei auf ihn lothrecht wirkenden Kräften afficirt wird, so müssen dieselben im Gleichgewichte seyn, wenn sie sich umgekehrt wie ihre Entfernungen vom Ruhepunkte verhalten.

IX. Da am Hebel der ersten Art ABC (Fig. 122.) Gleichgewicht ist, wenn sich $P : Q = BA : BA$ verhält; aus dieser Proportion aber die Gleichung $P \times AB = 2 \times BC$ folget: so drückt auch diese Gleichung die Bedingung für das Gleichgewicht aus.

Auf gleiche Weise wird am Hebel der zweiten Art DEF (Fig. 123.) zwischen K und L Gleichgewicht seyn, wenn $K : L = DE : DF$ ist, woraus $K \times FD = L \times ED$ folget.

Eben so besteht am Hebel der dritten Art MNS (Fig. 124.) zwischen K und L das Gleichgewicht, wenn $K : L = MS : MN$ ist, woraus $K \times MN = L \times MS$ ist.

Man nennt das Produkt aus der Größe einer Kraft in die Größe der ihr am Hebel zugehörigen Entfernung das **Moment** dieser Kraft. Daher kann man auch das Grundgesetz fürs Gleichgewicht am Hebel so aussprechen:

An jedem Hebel hat Gleichgewicht statt, wenn die gegen einander wirkenden Momente einander gleich sind.

§. 2.

Mancherlei Anwendungen des statischen Grundgesetzes.

I. Durch das bisher bewiesene Gesetz fürs Gleichgewicht der Kräfte am Hebel ist man im Stande, aus drei gegebenen Stücken das vierte durch Rechnung zu finden.

1) Für den Hebel der **ersten** Art ABC (Fig. 122.) Da hier $P : Q = BC : BA$ ist, so wird $P = \frac{Q \times BC}{BA}$; ferner

$$Q = \frac{P \times BA}{BC}; \text{ weiter}$$

$BC = \frac{P \times BA}{Q}$, und endlich

$BA = \frac{Q \times BC}{P}$.

2) Für den Hebel der zweiten Art, DEF (Fig. 123.). Hier ist $K : L = DE : DF$; folglich wird

$K = \frac{L \times DE}{DF}$; ferner

$L = \frac{K \times DF}{DE}$; weiter

$DE = \frac{K \times DF}{L}$, und endlich

$DF = \frac{L \times DE}{K}$.

3) Für den Hebel der dritten Art, MNS (Fig. 124.). Hier ist $K : L = MS : MN$. Folglich wird

$K = \frac{L \times MS}{MN}$; ferner

$L = \frac{K \times MN}{MS}$; weiter

$MS = \frac{K \times MN}{L}$, und endlich

$MN = \frac{L \times MS}{K}$.

Da man nach diesen Formeln leicht die zugehörigen Zahlenbeispiele berechnen kann: so ist diese Uebung den Anfängern vorzüglich zu empfehlen.

II. Beim Hebel der ersten Art ABC (Fig. 122.) ist die Hebellänge $AC = 1$, und jede der beiden Kräfte P und Q in Zahlen gegeben. Man soll den Ort der Unterlage in B für das Gleichgewicht finden. Setzt man die unbekannte Entfernung $AB = x$, so wird $BC = 1 - x$, und es wird zwischen P und Q Gleichgewicht seyn, wenn die Gleichung besteht:

$P \times x = (1 - x) \times Q$. Hieraus folgt

$P \times x = 1 \times Q - Q \times x$; ferner

$P \times x + Q \times x = 1 \times Q$; oder

$(P + Q) \times x = l \times Q$, woraus

$x = \frac{l \times Q}{P + Q} = AB$ folget.

Da nun $BC = l - x$ ist, so wird auch

$BC = l - \left(\frac{l \times Q}{P + Q}\right)$, oder

$$BC = \frac{P \times l + Q \times l - l \times Q}{P + Q} = \frac{l \times P}{P + Q}.$$

Es ist leicht, beide Formeln für AB und für BC mit Worten auszudrücken und durch Zahlen zu erläutern.

III. Am Hebel der zweiten Art DEF (Fig. 123.) sey $EF = l$, nebst der Kraft $= K$ und der Last $= L$ gegeben. Man sucht den Ort der Unterlage D für das Gleichgewicht.

Nennt man das unbekannte Stück $ED = x$, so ist $FD = l + x$; und am Hebel DEF wird Gleichgewicht seyn, wenn

$L \times x = K \times (l + x)$ ist. Hieraus wird

$L \times x = K \times l + K \times x$; folglich

$L \times x - K \times x = K \times l$, oder

$(L - K) \times x = K \times l$; woraus

$x = \frac{K \times l}{L - K}$ wird.

Wäre am Hebel der dritten Art MNS (Fig. 124.) die Hebellänge $NS = l$, und sowohl Kraft als Last gegeben: so könnte der Unterstützungspunkt M, wenn man $NM = x$ setzt, folgender Gestalt gefunden werden. Da hier $SM = l + x$ wird, so ist

$L \times (l + x) = K \times x$; folglich

$L \times l + L \times x = K \times x$; daher

$L \times l = K \times x - L \times x$, oder

$L \times l = (K - L) \times x$; woraus

$x = \frac{L \times l}{K - L}$ wird.

Es ist Anfängern zu rathen, diese Aufgaben in Zahlenbeispielen durchzurechnen.

IV. Wenn am Hebel der ersten Art ACB (Fig. 132.) AC = $\frac{1}{2}$CB und Q = $\frac{1}{2}$P ist: so bestehet Gleichgewicht an demselben.

Wird nun dieser Hebel um den Bewegpunkt C gedreht, so, daß der kleinere Arm CA den Kreisbogen AE, der größere Arm CB den Kreisbogen BD beschreibt: so ist klar, daß Bogen AE = $\frac{1}{2}$ Bogen BD ist. Es muß daher die einfache Kraft B den doppelten Raum BD, die doppelte Kraft A aber den einfachen Raum AE in der nämlichen Zeit beschreiben. Wäre CB z. B. 100 Mal so groß als CA, wo denn die Kraft P auch 100 Mal so groß, als Q seyn müßte: so würde der Raum BD 100 Mal so groß, als AE seyn.

Wäre am Hebel der zweiten Art ACD (Fig. 133.) die Entfernung AD = 3AC, so müßte auch L = 3K seyn; und wenn sich der Hebel AD von D nach F drehte, so würde Bogen DF = 3 Bogen CE seyn.

Dasselbige gilt auch vom Hebel der dritten Art ABC (Fig. 134.), worin z. B. AB = $\frac{2}{3}$AC, folglich auch K = $\frac{2}{3}$ L wäre. Hier müßte Bogen CD = $\frac{2}{3}$ Bogen BE seyn.

Daher geht hieraus das allgemeine Gesetz hervor:

Soviel an irgend einem Hebel an Kraft gewonnen wird, eben so viel geht verloren an der Geschwindigkeit, womit die Kräfte bei der Drehung des Hebels bewegt werden; und umgekehrt. Will man daher an Kraft gewinnen, so muß man an Geschwindigkeit verlieren: will man aber an Geschwindigkeit gewinnen, so muß an Kraft verloren werden. Beide Vortheile lassen sich niemals zugleich erhalten.

Beim praktischen Gebrauche des Hebels wird es daher darauf ankommen: ob man mit kleinerer Kraft eine größere Last langsamer, oder durch größere Kraft eine geringere Last schneller bewegen will.

V. Aus den bisherigen Lehren ergeben sich nun folgende Anwendungen zur Erläuterung:

1) Der Gebrauch der sogenannten Hebebäume. Hier gibt man der schweren Last an diesem physischen Hebel eine kleine Entfernung vom Drehpunkte; die Kraft aber wirkt in weit größerer Entfernung ein. Die Last wird durch einen kleinern, die Kraft durch einen vielmal größern Raum bewegt, wodurch sie eben eine so vielmal größere Wirksamkeit erhält. Die bekannte Wirkung des Brecheisens, Geisfuß, beruht ebenfalls hierauf.

2) Alle Scheeren und Zangen sind als Hebel der ersten Art zu betrachten; deren Bewegpunkt in der Achse ist, und wobei Last und Kraft auf dessen entgegengesetzten Seiten wirksam sind. Da die Entfernung der Last weit kleiner ist, als jene der Kraft, so ist die große Wirkung dieser Vorrichtungen leicht zu erklären; besonders z. B. bei den sogenannten Gartenscheeren, zum Beschneiden der Hecken, welche mit sehr langen Handhaben versehen sind. Auch die Zuckerzangen, Lichtputzen etc. gehören hierher. Doch wirken diese Instrumente nicht einzig nach der Theorie des Hebels, sondern zugleich auch nach der Wirkung des Keiles, dessen Kraft um so größer wird, je größer seine Spitze ist.

3) Die Schubkarren sind als Hebel der zweiten Art anzusehen. Da wo das Rad den Boden berührt, ist der Ruhepunkt oder der Bewegpunkt; die Last befindet sich in kleinerer Entfernung von ihm als die Kraft. Daher wirkt derselbe zum Vortheile der letztern, und dieses um so mehr, je näher die Last dem Bewegpunkte gebracht wird. Außerdem ist der Schubkarren auch noch durch die Anwendung des kleinen Rades leicht beweglich.

4) Jeder Thorflügel muß beim Auf- und Zuschließen als Hebel der zweiten Art betrachtet werden. In den Angeln ist der Bewegpunkt; die Last befindet sich im Schwerpunkte; und die Kraft wirkt entweder am vordern Ende desselben, oder am Ende eines langen Balkens, vermittelst dessen die Bewegung sehr er-

leichtert wird. Alle Thüren und Deckel der Kasten u. dergl. gehören hierher.

5) Ein Schiff, welches vermittelst eines, an seinem Mastbaume befindlichen Seiles durch die am Ufer ziehenden Menschen oder Pferde stromaufwärts bewegt wird, kann nach den Gesetzen des Hebels der zweiten Art beurtheilt werden. Den Ruhepunkt kann man am untern Theile des Mastbaumes, die Last (der Widerstand des Schiffes bei seiner Bewegung durch das Wasser) an seinem zweiten Unterstützungsorte annehmen, und die Kraft wirkt vermittelst des Seiles am andern Ende des Mastbaumes.

6) Alle Sensen, Schippen, Schaufeln u. s. f. so wie auch die Arme und Beine des menschlichen Körpers stellen Hebel der dritten Art vor. Bei der Schaufel ist der Bewegpunkt in der einen, an ihrem Ende befindlichen Hand; die Kraft liegt in der andern Hand; die Last aber wirkt am Ende der Schaufel. Da bei jedem Hebel der dritten Art die Kraft eine kleinere Entfernung vom Bewegpunkte, als die Last hat: so wirkt derselbe auch zum Nachtheile der Kraft, und zum Vortheile der Last. Aber eben hieraus geht auch die Möglichkeit jener schnellern Bewegungen hervor, welche man durch Hülfe dieser Hebel bewirken kann, und wovon so höchst mancherlei nützliche Anwendungen gemacht werden.

VI. An dem Hebel der ersten Art ACB (Fig. 132) sey AC = $\frac{1}{2}$ CB, so muß das Gewicht in B d. h. Q der Hälfte des Gewichtes in A, d. h. es muß Q = $\frac{1}{2}$ P seyn, wenn Gleichgewicht statt finden soll. Würde nun der Hebel um C gedreht, so würde die einfache Masse Q durch den doppelten Raum BD, die doppelte Masse P aber durch den einfachen Raum AE bewegt werden. Da nun, nach den früher bewiesenen Gesetzen von der bewegenden Kraft, ihre Größe durch das Produkt aus der Masse, welche bewegt, und aus der Geschwindigkeit, womit sie bewegt wird, zu bestimmen ist: so erkennt man hieraus, daß der Hebel ACB, wenn AC = $\frac{1}{2}$ CB und Q = $\frac{1}{2}$ P ist, auf keiner Seite in Bewegung gerathen kann; da

die bewegende Kraft bei B jener bei A gleich und entgegengesetzt ist.

Wäre im Allgemeinen BC : AC = m : n, und man dächte sich in A eine Kraft P, in B eine Kraft Q, so, daß P : Q = m : n wäre, so müßte auch nun Gleichgewicht am Hebel seyn. Denn wenn dieses nicht seyn sollte: so müßte entweder B oder A sinken oder steigen; welches deshalb nicht geschehen kann, da die bewegende Kraft bei D = m × n, jene bei A aber = n × m wäre; gleiche und entgegengesetzte Kräfte aber müssen sich im Gleichgewicht erhalten. Eben dieses kann auch auf den Hebel der zweiten Art angewendet werden.

VII. Wenn der Hebel der ersten Art ACF (Fig. 135.) in den Punkten A, B, D, E und F von den Kräften H, I, K, L und M afficirt wird, und man soll ihr Verhältniß für das Gleichgewicht finden: so ist klar, daß jede Kraft nach ihrem Momente zu bestimmen ist. Daher gibt H das Moment H × AC; I das Moment I × BC. Da nun beide Momente auf einerlei Seite des Hebels wirken: so ist ihre Gesammtwirkung = H × AB + I × BC. Auf gleiche Weise ist die Gesammtwirkung der drei andern Kräfte = K × DC + L × EC + M × FC. Folglich wird Gleichgewicht seyn, wenn
H × AB + I × BC = K × DC + L × EC + M × FC ist. Wenn eine von diesen fünf Kräften oder eine ihrer Entfernungen unbekannt wäre: so sieht man, wie dieselbe aus dieser Gleichung sehr leicht bestimmt werden kann.

Wenn am Hebel der zweiten Art ABCDE (Fig. 136.) in B, C und D die Kräfte L, M und N wirken, welche durch die in E wirksame Kraft K im Gleichgewichte erhalten werden sollen: so bilde man wiederum die Momente der einander entgegengesetzt wirkenden Kräfte; und es wird Gleichgewicht seyn, wenn L × BA + M × CA + N × DA = K × EA ist. Auch hier kann aus je sieben bekannten Größen die unbekannte achte berechnet werden.

Wenn am Hebel der dritten Art AH (Fig. 137.) in B, D, F und H die Kräfte M, N, O und P nach unten; in C und E aber die Kräfte Q und R nach oben wirken: so wird wieder Gleichgewicht seyn, wenn die gegen einander wirkenden Momente einander gleich sind, d. h. wenn
$M \times BA + N \times DA + O \times FA + P \times HA = Q \times CA + R \times EA$ ist, in welcher Gleichung aus je eilf Gliedern das zwölfte gefunden werden kann.

§. 3.

Fernere Anwendungen des statischen Grundgesetzes auf den physischen Hebel, und auf einige zusammengesetztere Fälle.

I. Bis hierher ist der Hebel als ein mathematischer, d. h. ohne alle Schwere betrachtet worden. Will man von diesen Lehren Anwendungen auf die Wirksamkeit machen: so muß man den physischen Hebel d. h. denjenigen betrachten, welcher in allen seinen Theilen schwer ist. Es sey z. B. AC (Fig. 138) eine cylindrische, mit gleichartiger Materie gleichförmig ausgefüllte Stange: so befindet sich ihr Schwerpunkt in ihrer Mitte bei B; und wenn man hier die Unterstützung anbringt, so muß der Hebel AC in Ruhe bleiben.

Wäre aber AB (Fig. 139.) der physische Hebel, welcher in C unterstützt und in A mit einem Gewichte M versehen ist: so muß man vor allem den Schwerpunkt jedes der zwei Arme CB und CA bestimmen. Wenn jener in E, dieser in D ist: so kann man sich aus diesen Punkten die Gewichte P und N vorstellen, deren jenes dem Gewichte von CB, dieses aber dem Gewichte von CA gleich ist. Hierdurch wird nun der physische Hebel ADB in einen mathematischen ACE verwandelt; welcher in den Punkten A und D von den Gewichten M und N, in E aber vom Gewichte P afficirt wird. Daher ist Gleichgewicht an

diesem Hebel, wenn $M \times AC + N \times DC = P \times EC$ ist.

Wäre AB (Fig. 140.) ein physischer Hebel, welcher in A unterstützt ist, und in B durch die Kraft K im Gleichgewichte erhalten werden soll: so muß zuerst die Lage seines Schwerpunkts bestimmt werden. Da sich dieser, wegen der prismatischen Gestalt des Hebels, in der Mitte bei V befindet: so kann man sich aus V nach der Richtung VCL eine Last L denken, welche dem Gewichte des Hebels AB gleich ist. Hierdurch ist der physische Hebel in den mathematischen ACB verwandelt, woran unter der Bedingniß, daß $L \times CA = K \times BA$ ist, das Gleichgewicht besteht.

Wäre BDC (Fig. 141.) ein ähnlicher physischer Hebel, aber von kegelförmiger Gestalt: so würde sich sein Schwerpunkt etwa in V befinden, und es wäre Gleichgewicht, wenn $L \times DB = K \times CB$ ist.

Befände sich auf dem physischen Hebel BC (Fig. 142.), welcher in B unterstützt, und in C mit einer Kraft nach CK versehen ist, noch eine Last L: so müßte sowohl der Schwerpunkt des Hebels in F, als auch jener der Last L in V bestimmt werden. Denkt man sich nun in H das Gewicht des ganzen Hebels, in E aber jenes der Last L wirksam: so ist hierdurch der physische Hebel wieder in einen mathematischen verwandelt, bei welchem unter der Bedingniß $E \times DB + H \times FB = K \times CB$, das Gleichgewicht besteht.

Nun sey MR (Fig. 143.) ein physischer Hebel der dritten Art, woran sich in R die Last L und in N die Kraft K befindet. Nimmt man den Schwerpunkt in V, und denkt sich in H ein Gewicht, jenem des ganzen Hebels gleich: so ist Gleichgewicht, wenn $H \times VM + L \times RM = K \times NM$ ist.

II. Wenn der mathematische Hebel AB (Fig. 144.) auf zwei Unterlagen bei A und B ruhet, und in dessen Mitte C die Last L lothrecht nach unten wirkt: so ist klar, daß jede dieser Unterlagen die Hälfte von L zu tragen habe. Denn man kann sich den

Hebel

Hebel ACB als einen Hebel der zweiten Art denken, wobei der Ruhepunkt in A und die Kraft in B sich befindet. Da nun AB = 2AC ist: so wäre auch die in B wirkende Kraft = $\frac{1}{2}$ L. Auf gleiche Weise kann man auch den Ruhepunkt in B, die Kraft aber in D setzen; wodurch der Hebel ebenfalls von der zweiten Art ist, an welchem, wegen AB = 2CB, die Kraft in A wiederum = $\frac{1}{2}$ L wäre. Daher ist der Druck auf A, so wie jener auf B = $\frac{1}{2}$ L. Wäre z. B. L = 60 ℔: so würde jede Unterlage mit einer Kraft von 30 ℔ gedrückt werden.

Wenn aber der bei M und N (Fig. 145.) unterstützte Hebel MN im Punkte B mit der Last L versehen, und MB < NB ist: so wird die Wirkung auf jede der beiden Unterlagen folgendergestalt gefunden. Wenn man den Ruhepunkt in M und die Kraft in N setzt, auch die Größe der bei M und N wirksamen Kräfte mit den Buchstaben M und N bezeichnet: so verhält sich

$$N : L = MB : MN, \text{ woraus}$$

$$N = \frac{L \times MB}{MN} \text{ wird. Ferner ist}$$

$$M : L = NB : NM, \text{ woraus}$$

$$M = \frac{L \times NB}{NM} \text{ wird. Daher ist auch}$$

$$N : M = \frac{L \times MB}{MN} : \frac{L \times NB}{NM}, \text{ oder}$$

$$N : M = MB : NB.$$

Hieraus entsteht folgendes Gesetz:

Wenn ein Hebel auf zwei Unterlagen ruhet und zwischen beiden eine Kraft wirksam ist: so steht der Druck auf jede dieser beiden Unterlagen im umgekehrten Verhältnisse der Entfernungen dieser Kraft von jeder derselben.

Hierdurch kann auch am Hebel NM eine gegebene Last L dergestalt an einem Zwischenpunkte B angebracht werden: daß der Druck, welchen sie auf jede dieser Unterstützungen äußert, in einem bestimmten

Verhältnisse, z. B. im Verhältnisse von m : n, steht. Man darf nur die Hebellänge MN nach diesem Verhältnisse eintheilen, und die Kraft L nach dem Umgekehrten der Entfernungen wirken lassen.

III. Wenn der physische Hebel BC (Fig. 146.) auf den Unterlagen B und C ruht, und in E mit der Last L beschwert ist: so muß vor allem der Ort des Schwerpunktes gefunden werden. Wenn dieser in V ist: so wirkt nach der Richtung VDH ein Gewicht H, welches dem Gewichte des ganzen Hebels BC gleich ist. Man hat daher den mathematischen Hebel BC, auf welchen in E und D die Kräfte L und H wirken. Die Wirkung von L auf B verhält sich zu jener auf C, wie sich EC : EB verhält; die Wirkung von H auf B verhält sich zu jener auf C, wie CD zu BD. Wird jede dieser Wirkungen berechnet: so findet man den Gesammtdruck, welchen beide Gewichte sowohl auf B, als auf C äußern. Zur Uebung lassen sich mehrere dergleichen Fälle denken, deren Auflösung eine lehrreiche Uebung für Anfänger ist.

IV. Im Bisherigen wurden die am Hebel wirksamen Kräfte als senkrecht auf denselben einwirkend angenommen. Da dieselben aber auch nach schiefen Richtungen wirken können, so entsteht die Frage: was das Resultat solcher schiefen Einwirkungen sey. Wenn BCD (Fig. 147.) ein Hebel der ersten Art ist, auf welchen die Kraft L nach der lothrechten Richtung BL, eine Kraft in D aber nach dem spitzen Winkel CDR wirkt: so denke man sich unter DE das Maaß dieser Kraft nach Richtung und Größe, und zerlege dieselbe in die auf CD senkrecht stehende DA, und in DF, welche gegen C wirkt. Hier ist klar: daß der Antheil DF nicht zur Drehung des Hebels verwendet, sondern von dem Widerstande der festen Unterlage in C gänzlich aufgehoben werde. Daher bleibt, als Drehkraft für den Hebel, lediglich die Kraft DA übrig; und es ist klar: daß die schief wirkende Kraft DE wegen ihrer schiefen Richtung eine Verminderung erlitten habe, welche nach dem Verhältnisse von DE zu DA bestimmt wird. Nun ziehe man aus C das Loth

CH auf die Richtung DR der schief wirkenden Kraft DE. Hier sind die Dreiecke DAE und DFE congruent; die Dreiecke DFE und DHC aber sind, weil sie den Winkel bei D und die rechten Winkel bei F und bei H gemein haben, einander ähnlich. Daher ist auch das Dreieck EDA dem Dreiecke DCH ähnlich, und es verhält sich DC : CH = ED : DA, woraus DC × DA = CH × ED folget. Da aber am Hebel BCD Gleichgewicht statt findet, wenn CB × L = CD × DA ist: so muß auch dieses Gleichgewicht bestehen, wenn CB × L = CH × DE ist, woraus folgendes allgemeine Gesetz erwiesen ist:

Das Moment einer auf den Hebel schief wirkenden Kraft wird gefunden, wenn man die Größe dieser Kraft mit der Größe eines Lothes multiplicirt, welches aus dem Ruhepunkte auf die Richtung dieser Kraft gezogen wird.

Wenn der Hebel MND (Fig. 148.) von den Kräften S und R nach den schiefen Richtungen MS und DR afficirt wird: so wird Gleichgewicht an demselben seyn, wenn S × FN = R × EN ist; oder wenn die Proportion besteht S : R = NE : NF.

Wirkte auf den Hebel BCD (Fig. 149.) die Kraft R unter dem stumpfen Winkel CDR mit der Größe DN: so zerlege man DN in die lothrechte DM und in die, in der Verlängerung von CD liegende äußere Kraft DE; verlängere auch RD gegen H, und ziehe das Loth CF auf dieselbe. Hier wird, nach dem Vorigen, das Moment von R = CF × R seyn, und es ist Gleichgewicht am Hebel, wenn dieses Moment dem Momente L × BC gleich ist. Bei dieser Richtung der Kraft R wird die Unterlage C, mit dem Antheile DE, von C nach D gezogen; bei der Kraft R (Fig. 147.) dagegen wurde die Unterlage C, mit der Kraft DF, von D nach C gedrückt.

Hieraus geht überhaupt das für die Praxis wichtige Resultat hervor: daß eine Kraft an dem Hebel das Maximum ihrer Wirkung äußert, wenn dieselbe lothrecht auf ihn einwirkt. Bei schiefen Richtungen,

sie mögen unter spitzen oder stumpfen Winkeln statt finden, geht immer ein Antheil derselben als Drehkraft verloren, und zwar um so mehr, je schiefer diese Richtungen sind.

Würde der Hebel DCA (Fig. 150.) von den Kräften P und Q nach schiefen, aber unter sich parallelen Richtungen afficirt: so würde Gleichgewicht seyn, wenn P : Q = CA : CD ist. Denn wenn man das Loth CE auf AQ zieht, die EC rückwärts verlängert, bis sie von der über D verlängerten PD in B geschnitten wird: so muß auch der Winkel B ein rechter seyn, und es ist am Hebel BCE Gleichgewicht, wenn P : Q = CE : CB. Nun sind aber die Dreiecke ECA und BCD einander ähnlich. Daher ist CE : CB = CA : CD. Daher verhält sich nun auch P : Q = CA : CD, und das Gleichgewicht wird unter dieser Bedingniß bestehen.

Auf ähnliche Weise lassen sich auch jene Fälle entwickeln, wobei am Hebel der zweiten, oder der dritten Art die Kräfte nach schiefen Richtungen auf dieselbigen einwirken.

Man versteht unter einem Winkelhebel einen mathematischen, unbiegsamen, um seinen Scheitelpunkt drehbaren Winkel ohne alle Schwere, auf dessen Schenkel die Kräfte entweder senkrecht oder schief einwirken. Der Winkelhebel BCE (Fig. 151.) werde in B und in E von den Kräften P und R lothrecht auf die Hebelarme CB und CE afficirt. Man soll beweisen, daß dieselben unter der Bedingniß

P : R = CE : CB im Gleichgewichte stehen werden. Verlängert man BC nach D, bis CD = CE ist, und bringt in D die lothrecht wirkende Kraft Q = R an: so ist am Hebel BCD Gleichgewicht, wenn P : Q = CD : CB. Nun wird der Punkt D mit dem Momente Q × CD, der Punkt E aber mit dem Momente R × CE afficirt. Da aber diese beiden Momente einander gleich sind: so muß auch die Wirkung auf den Hebelarm CB dieselbige seyn, ob Q in D, oder R in E wirksam ist. Man kann sich auch den um C beweglichen Sector ECD denken, welcher mit glei-

cher Stärke von Q in D wie von R in E gezogen wird. Daher ist auch am Winkelhebel BCE Gleichgewicht, wenn die Momente $P \times BC$ und $R \times EC$ einander gleich sind, d. h. wenn $P : R = CE : CB$ ist.

Würde der Winkelhebel MCN (Fig. 152.) von den auf seinen Schenkeln CM und CN lothrecht stehenden Kräften P und Q afficirt: so würde an demselben Gleichgewicht seyn, wenn $P : Q = NC : MC$ ist; d. h. bei lothrecht wirkenden Kräften hat am Winkelhebel dasselbige Gesetz statt, welches auch für den einfachen geradlinigen Hebel gilt.

Wirkten auf den Winkelhebel ACB (Fig. 153.) die Kräfte P und Q unter spitzen Winkeln A und B ein: so müßte man aus C die Lothe CM und CN auf AP und BQ ziehen; und es würde nun Gleichgewicht seyn, wenn $P : Q = CN : CM$ ist.

Würde der Winkelhebel BCD (Fig. 154.) in B von der Kraft P, in F von Q, und in D von R afficirt, so, daß diese Kräfte unter schiefen Winkeln einwirkten: so müßte man das Loth CM auf BP, CN auf FQ, und CE auf DR ziehen; und es wäre Gleichgewicht, wenn

$$P \times MC + Q \times NC = R \times CE \text{ ist.}$$

Hieraus ist klar, daß die oben für den geradlinigen Hebel entwickelten Aufgaben auch nun auf ähnliche Weise auf den Winkelhebel können angewendet werden. Auch sind diese Hebel für praktische Anwendungen mehrfach nützlich.

§. 4.

Theorie des zusammengesetzten Hebels.

1. Die bisherigen Sätze haben den Hebel nur in seiner Einfachheit betrachtet. Man kann aber auch mehrere Hebel so mit einander verbinden, daß sie im Stande sind, bedeutende Wirkungen zu erzeugen. Man nennt solche Verbindungen zusammengesetzte Hebel, und die Aufgabe ist nun, das Gesetz fürs

Gleichgewicht am zusammengesetzten Hebel zu entwikkeln. Es seyen (Fig. 155.) die drei Hebel der ersten Art ABC, CDE und EFH dergestalt bei C und E verbunden, daß sie, wenn auch nur einer von ihnen bewegt wird, in gemeinsame Bewegung gerathen: so stellt diese Hebelverbindung einen zusammengesetzten Hebel vor. Wenn der Punkt A sinket, so muß C steigen; wenn C steigt, so muß E sinken; und wenn E sinket, so muß H wiederum steigen. Daher kann man sich in H ein Gewicht K als Kraft, in A aber ein Gewicht L als Last denken; welche einander im Gleichgewichte halten können, wenn sie das gehörige Verhältniß ihrer Größe haben. Dieses Verhältniß soll nun bestimmt werden.

II. Soll die Last L am Hebel ABC in C erhalten werden: so müßte hier (nach bekannten Vordersätzen) eine Kraft $= \frac{L \times AB}{BC}$ wirken. Diese Kraft erhält aber am zweiten Hebel CDE ein Moment $= \frac{L \times AB \times CD}{BC}$, und die in E zur Herstellung des Gleichgewichts wirksame Kraft muß $= \frac{L \times AB \times CD}{BC \times DE}$ seyn. Da aber diese Kraft am dritten Hebel in der Entfernung EF wirksam ist: so erhält sie ein Moment $= \frac{L \times AB \times CD \times EF}{BC \times DE}$, und es ist die in H zur Bildung des Gleichgewichts erforderliche Kraft $K = \frac{L \times AB \times CD \times EF}{BC \times DE \times FH}$.

Aus dieser Gleichung folgt die Proportion
$K : L = AB \times CD \times EF : BC \times DE \times FH$,
welche das allgemeine Gesetz ausspricht:

> Am zusammengesetzten Hebel ist Gleichgewicht, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie das Produkt aus allen Entfernungen der Last zum Produkte aus allen Entfernungen der Kraft.

III. Wenn man die Entfernungen der Last AB, CD, EF klein; die Entfernungen der Kraft aber, nämlich BC, DE, FH größer annimmt: so wird eine sehr große Last durch eine verhältnißmäßig unbedeutende Kraft im Gleichgewichte können erhalten werden. Wäre z. B. AB = CD = EF = 1, und BC = DE = FH = 10, so würde K : L = 1 × 1 × 1 : 10 × 10 × 10 d. h. K : L = 1 : 1000 seyn, oder die Kraft von 1 ℔ könnte eine Last von 1000 ℔ im Gleichgewichte halten. Dächte man sich, anstatt drei, sechs solcher Hebel in Verbindung: so würde K : L = 1 : 1000000 seyn, woraus die ungeheure statische Kraft dieser Hebelverbindung genugsam hervorgeht.

IV. Aber so wirksam diese Hebelverbindung für das Gleichgewicht ist: so wenig Brauchbarkeit hat sie für die Bewegung. Denn wenn z. B. nach dem obigen Verhältnisse K : L = 1 : 1000 wäre: so würde, wenn die Kraft K den Punkt H durch den Raum = 1 bewegte, die Last L sich am Punkte A nur durch $\frac{1}{1000}$ dieses Raumes bewegen können; wie man leicht findet, wenn die in E, C und A stufenmäßig abnehmenden Bewegungen (nach Anleitung der frühern Sätze) berechnet werden. Demohngeachtet ist der zusammengesetzte Hebel auch für die praktische Mechanik sehr wichtig: weil er den Grund zur Theorie des Räderwerks enthält, welches so außerordentlich wirksam in mannigfaltigen Anwendungen ist.

Auch ist aus dem eben Bewiesenen klar: daß das Gesetz, welches für den einfachen Hebel bewiesen worden ist, auch von dem zusammengesetzten Hebel im zusammengesetzten Verhältnisse der Wirkungen gültig sey.

V. Die Zusammensetzung der Hebel kann auf mehrfache Weise geschehen. Zur Erläuterung nur einige Beispiele. Auf der Unterlage D (Fig. 156.) befinde sich das Balkenstück DA, welches durch den physischen Hebel der ersten Art ABE vermittelst der Kraft P im Gleichgewichte gehalten werden soll. Wenn der Schwer-

punkt von DA sich in V befindet: so denke man sich nach der Richtung VFM in F ein Gewicht M, welches dem Gewichte des Körpers DA gleich ist. Hier wird $M \times DF$ das Moment von M, und die in A anzubringende Kraft zur Erhaltung des Körpers DA ist $= \frac{M \times DF}{DA}$. Da aber diese Kraft am Hebel ABE in der Entfernung AB wirkt: so bekömmt sie hier ein Moment $= \frac{M \times DF \times AB}{DA}$. Allein der Hebelarm AB hat seinen Schwerpunkt in T, und ein Moment $= Q \times BT$. Da nun der Hebelarm BE seinen Schwerpunkt in C hat, dessen Moment $= N \times BC$ ist, und da außerdem noch in E die Kraft P angebracht ist, welche ein Moment $= P \times BE$ hat: so muß an dieser Hebelverbindung Gleichgewicht seyn, wenn $\frac{M \times DF \times AB}{DA} + Q \times BT = N \times BC + P \times BE$ ist.
Wäre alles, außer der Kraft P gegeben: so könnte man diese aus vorstehender Gleichung leicht berechnen.

Wenn die physischen Hebel ACE (Fig. 157.) EHL und LNP mit einander verbunden sind, und die Schwerpunkte ihrer einzelnen Arme sich in B, D, F, K, M und O befinden: so kann man dieselben auf mathematische Hebel dadurch reduciren, daß man sich in den genannten Punkten die Gewichte R, S, T, U, V, W vorstellt, welche dem Gewichte dieser Hebelarme gleich sind. Nach durchgeführter Rechnung wird man finden, daß, ohne eine bei P besonders wirkende Kraft, durch das bloße Moment der längern Hebelarme, eine bedeutende Last Q in A erhalten werden kann.

VI. Noch gehört hierher jene besondere Hebelverbindung, welche unter dem Namen Roberval's Wage bekannt ist. Dieser scharfsinnige Mathematiker legte sie im Jahre 1670 den Geometern seiner Zeit als ein mechanisches Räthsel vor. Sie hat folgende Einrichtung. Die vier Stäbchen (Fig. 158.) AB, DE,

AD und BE bilden dergestalt ein Parallelogramm, daß sie in dessen vier Winkelpunkten verschoben werden können, wobei AB mit DE und AD mit BE immer parallel bleibt. In der Mitte von AD und BE sind zwei willkührlich lange Stäbe GIH und LNM rechtwinkelig und unbeweglich befestigt. Diese Vorrichtung wird nun an dem senkrechten Stabe CR so angebracht, daß sie um die Punkte C und F, welche in der Mitte von AB und DE liegen, drehbar ist. Hierdurch wird CF die Achse und O der Mittelpunkt dieser Wage. Werden nun zwei gleiche Gewichte P und Q z. B. in H und in M angebracht: so bleibt die Wage, obwohl diese Gewichte von den Bewegpunkten A und F ungleich entfernt sind, dennoch im Gleichgewichte. Dieses Gleichgewicht wird auch dann noch bestehen, wenn P und Q an GH und LM nach Belieben verrückt werden. Auch kann, wenn das Rechteck ABED verschoben und der Hebel GH mit seinem Ende H zwischen CF und BE gebracht wird, das Gewicht P nun in H gehängt werden; und das Ganze wird, obgleich sich nun beide Gewichte auf einerlei Seite der Punkte C und F befinden, dennoch unbewegt bleiben. Um dieses, den bisherigen Gesetzen vom Gleichgewichte am Hebel zu widersprechen scheinende Phänomen auf eine, zwar weniger strenge, jedoch den Anfängern faßliche Weise zu erklären, bemerke man: daß, wenn das Viereck ABED sich um die Punkte C und F drehet, jeder Punkt in GH und in LM (nach bekannten Sätzen der Geometrie) eben so geschwind, wie der andere bewegt wird. Daher tritt hier der Fall des ungleicharmigen Hebels der ersten Art nicht ein, an welchem die Endpunkte als verschieden entfernt vom Unterstützungspunkte, sich mit ungleicher Geschwindigkeit bewegten; wozu denn auch ungleiche Kräfte erforderlich sind. Da vielmehr die Bewegungen aller Punkte der Seitenhebel GH und LM mit gleicher Geschwindigkeit geschehen: so werden auch zu gleichen bewegenden Kräften gleiche Massen, d. h. gleiche Gewichte oder gleiche absolute Kräfte nöthig seyn.

Wer hierüber gründlichere Belehrung verlangt, sehe meine Abhandlung: Roberval's Wage, historisch erläutert und nach ihren paradox scheinenden Wirkungen streng bewiesen. 1816. 4.

Zweites Kapitel.

Theorie und Gebrauch der Wagen, Rollen und Flaschenzüge.

Die Einrichtung und Wirkung der gemeinen Wage und der Schnellwage, der festen und beweglichen Rollen, der gemeinen und der Potenzflaschenzüge bilden den Inhalt dieses Kapitels; welcher, da diese Vorrichtungen so bekannt, als nützlich sind, von vorzüglichem Interesse ist.

§. 1.

Die gemeine Wage und die römische Wage.

I. Die gemeine Wage, nach ihrer Einrichtung aus dem bürgerlichen Leben hinreichend bekannt, bildet einen gleicharmigen physischen Hebel der ersten Art. Diesen Hebel nennt man den Wagebalken, welcher (Fig. 159.) durch BDC vorgestellt wird. Es sey dessen Schwerpunkt in E, dessen Achse (sein Bewegpunkt) oberhalb desselben bei E: so muß, wenn E lothrecht unter D liegt, der physische Hebel BDC vollkommen ruhen, da der Schwerpunkt in dieser Lage seine Unterstützung gefunden hat. Wird nun dieser Wagebalken, z. B. bei B etwas herabgedrückt: so muß sich sein Schwerpunkt E zur Rechten etwas erheben, und, wenn das Ganze sich selbst überlassen wird, wie-

derum in die lothrechte Lage zurückfallen; hier aber nicht ruhen sondern durch die im Fallen erhaltene Kraft zur Linken sich erheben; d. h. der Wagebalken BC wird um den Achsenpunkt D mehrfache Schwingungen machen, bis er allmählig, durch den Widerstand der Luft, und durch die Reibung bei D zur Ruhe kömmt.

Außer dem Wagebalken befinden sich an der Wage (Fig. 160.) die beiden Wageschalen Q und R, welche im Gewichte einander vollkommen gleich seyn müssen, und somit, bei M und N angebracht, den Wagebalken MN in Ruhe erhalten.

II. Einen Körper wägen heißt nichts anders, als, sein noch unbekanntes Gewicht durch bekannte Gewichtstheile bestimmen. Wird daher in die Schale Q der zu wägende Körper, in R aber nach und nach so viel bekanntes Gewicht gebracht, daß der Wagebalken in horizontale Ruhe kömmt: so wird das Gewicht in Q dem bekannten Gewichte in R gleich seyn, weil der Hebel MPN ein gleicharmiger ist. Hieraus ist klar, daß die Wage nicht im Stande ist, das Gewicht eines Körpers an sich selber zu bestimmen; denn das, was wir z. B. Pfunde und Lothe nennen, sind nichts anders, als willkührlich angenommene Gewichte.

III. Wenn zwischen der Waare in Q und dem Gewichte in R Gleichgewicht besteht, und man bringt noch etwas Weniges von jener hinzu: so wird die horizontale Lage des Wagebalkens MN in eine bei M etwas herabgeneigte verwandelt, und man erhält den sogenannten Ausschlag. Indem nämlich das Gewicht in Q etwas vermehrt wird, muß der Schwerpunkt V sich so lange zur Rechten erheben, bis sein Moment dem Momente des Zuleggewichtes in Q gleich ist. Wird letzteres um etwas vermehrt, so muß auch der Schwerpunkt V sich noch weiter vom Achsenpunkte P entfernen, d. h. der Ausschlag muß bedeutender werden.

IV. Wenn eine Wage, auch durch ein kleines Zuleggewicht, schon einen merkbaren Ausschlag gibt,

so wird sie eine empfindliche oder feine; im Gegentheil aber eine faule oder träge Wage genennt. Je näher der Schwerpunkt V gegen den Achsenpunkt P rückt, desto weniger Kraft bedarf es, um denselben aus seiner lothrechten Lage zu bringen; desto empfindlicher ist demnach die Wage. Befände sich ihr Schwerpunkt ganz genau in dem Achsenpunkte, so wäre bei einem Anstoße, in M oder N, das Hin- und Herschwanken der Wage unmöglich, und sie würde (wie man leicht zeigen kann) auch in jeder schiefen Lage in Ruhe bleiben. Läge aber der Schwerpunkt oberhalb der Achse: so würde der Wagebalken bei der kleinsten Bewegung ganz und gar umfallen.

V. Eine Krämerwage kann dadurch verfälscht werden, daß die eine Hälfte des Wagebalkens, z. B. PM etwas weniges länger, als die andere PL; dagegen jene verhältnißmäßig etwas dünner an Masse, als diese ist, wodurch der Wagebalken ohne Schalen, sich selbst überlassen, wagerecht ruhen kann. Nun ist die bei M anzuhängende Schale Q um etwas weniges geringer an Masse, als die in N befindliche Schale R. Wird nun in Q die Waare und in R so lange Gewicht gelegt, bis die Wage im Gleichgewichte steht, so müßte der Käufer zu wenig Waare erhalten, da ihr Moment, durch die etwas größere Entfernung, vergrößert würde. Um diesen Betrug zu entdecken, darf man entweder die leeren Wagschalen nur verwechseln, oder auch in jede derselben ein vollkommen gleiches Gewicht legen. Würde hierdurch das Gleichgewicht gestört, so könnte man hieraus auf die Unrichtigkeit der Wage schließen.

VI. Demungeachtet kann man durch eine auf diese Weise verfälschte Wage das wahre Gewicht eines Körpers finden. Es seyen z. B. a und b (Fig. 161) die beiden ungleichen Theile des Wagbalkens, und K sey der zu wägende Körper. Bringt man erst K mit x ins Gleichgewicht, so verhält sich $K : x = b : a$. Legt man nun den Körper K in die andere Wagschale, und bestimmt sein Gegengewicht beim Gleichgewichte, so ist $y : K = b : a$. Aus beiden Proportionen

folgt diese: $K : x = y : K$, welche $K^2 = x \times y$, folglich $K = \sqrt{x \times y}$ gibt. Daher entsteht die Regel:

Man bestimme das Gewicht des zu wägenden Körpers in jeder der beiden Wagschalen, durch bekannte Gegengewichte, ziehe aus ihrem Produkte die Quadratwurzel: so zeigt diese das wahre Gewicht des zu wägenden Körpers an.

VII. Die Schnellwage, oder die römische Wage ist zwar auch ein Hebel der ersten Art; jedoch ein ungleicharmiger. An dem physischen Hebel BN (Fig. 162.) befindet sich in B die Wagschale Q, und in C, in geringer Entfernung von B, der Bewegpunkt oder die Achse. Auch sey die Vorrichtung so getroffen, daß der längere Arm CN, nach dem Momente seines Schwerpunkts, ohne irgend ein Anhängegewicht mit dem kürzern Arme CB und der daran hängenden leeren Schale Q im Gleichgewicht stehe. Nun mache man CD = DE = EF = FH = HM = MN = BC, und habe ein Gewicht P z. B. von 1 Pfd., welches man den Läufer nennt, weil es auf dem längern Arme hin und her bewegt werden kann. Stände nun die Ware in Q mit dem in D befindlichen Gewichte P im Gleichgewichte: so müßte sie ebenfalls 1 Pfd. wiegen. Müßte aber der Läufer P bis nach M vorgeschoben werden, um Gleichgewicht herzustellen: so betrüge ihr Gewicht 5 Pfd., da P in der Entfernung CM = 5BC wirksam ist. Wollte man, außer den ganzen Pfunden, auch noch halbe und Viertelpfunde bestimmen: so müßte CD, DE, EF, u. s. w. noch in zwei oder in vier gleiche Theile abgetheilt werden.

VIII. Da an dieser Wage ein unveränderliches Gewicht, in verschiedenen Entfernungen wirksam, sehr vielen Gegengewichten das Gleichgewicht halten kann: so übersieht man leicht den Vorzug der Schnellwage vor der Krämerwage. Auch ist der Druck auf die Achse in C bei jener lange nicht so bedeutend, als bei dieser. Im vorigen Beispiele betrüge derselbe

dort 6 Pfd.; hier aber 10 Pfd. Bei größern Lasten wird dieser Unterschied immer bedeutender, wie dieses z. B. die Heuwagen beweisen.

IX. Die Schnellwage ist nicht immer so eingerichtet, daß die leere Schale Q in der Entfernung BC dem unbeschwerten längern Arme CN das Gleichgewicht hält; sondern entweder ist das Moment der leeren Schale größer oder kleiner, als jenes des längern Armes. Im ersten Falle müßte man z. B. den Läufer P in D anbringen, bis derselbe die leere Schale im Gleichgewicht hielte; und man würde nun erst, vom Punkte D angefangen, die gleichen Stücke DE = EF u. s. f. auftragen, wo denn der z. B. in M befindliche mit der Waare in Q im Gleichgewicht stehende Läufer P das Gewicht dieser Waare zu 4 Pfd. angeben würde. Im andern Falle müßte z. B. ein Gewicht von 2 Pfd. in Q gelegt werden, damit der unbeschwerte Arm CN im Gleichgewichte stände. Wenn nun der 1 Pfd. schwere Läufer in M die Wage zum Gleichgewichte brächte: so würde sich in Q ein Gewicht von 5 + 2 = 7 Pfd. befinden.

Bisweilen sind an dieser Wage zwei verschiedene Achsen und zweierlei Eintheilungen des Wagebalkens angebracht, welche man mit dem Namen leichtes und schweres Gewicht bezeichnet, und dessen Bedeutung nach dem Bisherigen leicht zu bestimmen ist.

§. 2.

Die Rollen und Flaschenzüge.

I. Eine mathematische Kreisscheibe AFBM (Fig. 163.) ohne Schwere und Biegsamkeit, um den Mittelpunkt C ohne Reibung drehbar, und mit einer vollkommen biegsamen mathematischen Linie KAFBL umschlungen, an deren einem Ende K die Kraft, am andern bei L aber die Last wirkt, wird eine feste Rolle im mathematischen Sinne des Wortes genennt. Ist aber dieselbe eine aus Holz oder Metall verfer-

tigte, an ihrem Umfange mit einer Rinne versehene, und mit ihrem Zapfen bei C in einer kreisförmigen Höhlung drehbare, von einem Seile oder von einer Kette umschlungene Scheibe: so wird sie eine physische feste Rolle genennt, deren Theorie auf der mathematischen Rolle beruht.

Wenn in A und B die Kräfte K und L nach parallelen, lothrechten Richtungen AK und BL wirken, so denke man sich den Durchesser ACB, wodurch diese Rolle in einen gleicharmigen Hebel der ersten Art verwandelt wird. Soll daher die Kraft K mit der Last L im Gleichgewichte stehen, so müssen beide einander gleich seyn. Wäre z. B. L = 40 Pfd.: so müßte die Kraft in K ebenfalls 40 Pfd. betragen. Bewegte sich K von K bis R, so würde die Rolle um C gedreht, und die Last L würde gerade um eben so viel sich erheben; was ebenfalls mit der bekannten Theorie des Hebels übereinstimmt.

II. Obwohl bei dem Gebrauche der festen Rolle die Kraft nicht erhöhet wird, so ist dieselbe dennoch im Praktischen von unschätzbarer Anwendung, da sie der Kraft eine bequemere Richtung ihrer Wirksamkeit ertheilt. Dies ist z. B. bei dem gewöhnlichen Ziehbrunnen der Fall, wenn L den vollen Eimer, K dagegen die Kraft bedeutet, welche am Seile AK wirkt. Da der Mensch sehr bequem von oben nach unten zieht, indem er einen Theil seines Körpers als Gewicht wirken läßt: so ist diese Richtung von A nach K zu ziehen weit zweckmäßiger, als wenn man den vollen Eimer vermittelst des Strickes von unten nach oben heben wollte.

III. Gesetzt die Kraft wirke nach der Richtung DE, so wird DE als Tangente des Kreises anzusehen seyn, auf welcher der Radius CD lothrecht steht. Daher muß man nun den Winkelhebel DCB betrachten, auf dessen Arme CB und CD die Last in L und die Kraft in E lothrecht einwirken. Daher ist Gleichgewicht an demselben, wenn $E : L = CB : CD = 1 : 1$; d. h. auch nach der Richtung DE muß die Kraft E der Last L gleich seyn. Dächte man sich

die Richtung der Kraft nach FH, parallel mit AB: so müßte man den Winkelhebel FCB betrachten, welcher wiederum gleicharmig ist, und woran die Kraft in H der Last in L wiederum gleich seyn muß. Daher ist es ganz einerlei, nach welcher Richtung die Kraft bei dieser Rolle wirket. Sie wird immer der Last gleich seyn müssen, um mit ihr im Gleichgewicht zu stehen. Eben darin besteht der wichtige Gebrauch dieser festen Rollen in der praktischen Mechanik, daß man durch sie die Wirkungen der Kraft oder der Last nach jeder beliebigen Richtung fortleiten kann, ohne daß sie etwas an Stärke verlieret. Sollte z. B. eine bedeutende Last L aus der Tiefe emporgehoben werden: so könnte dieses nach der Richtung FH sehr bequem durch Anwendung eines Pferdes, oder mehrerer Pferde geschehen, deren Zugkraft in horizontaler Richtung am Stärksten ist. Uebrigens muß man bei physischen Rollen auf mancherlei Hindernisse Bedacht nehmen: z. B. auf die Reibung am Zapfen, auf die Steifheit der um sie geschlungenen Seile, u. s. w.

IV. Wenn eine Rolle so eingerichtet ist, daß sie nicht blos um ihren Mittelpunkt bewegt, sondern auch im Ganzen erhoben und herabgesenkt werden kann: so heißt sie eine bewegliche Rolle. Zum Beispiele dienet die Rolle BMDN (Fig. 164.) Sie ist mit dem Seile KBNDF umschlungen, welches in F seine Befestigung hat. Wirkt nun aus dem Centrum C nach lothrechter Richtung die Last L: so wird diese mit der, in B nach lothrechter Richtung BK aufwärts wirkenden Kraft im Gleichgewichte stehen können. Das Verhältniß, welches hierbei für Kraft und Last Statt findet, soll nunmehr bestimmt werden. Eine genauere Betrachtung dieser Rolle zeigt, daß sie einen Hebel der zweiten Art BCD vorstellt, dessen Unterstützung sich in D befindet, und woran die Last in der Entfernung CD, die Kraft aber in der Entfernung BD wirksam ist. Daher wird Gleichgewicht seyn, wenn K : L = CD : BD = 1 : 2 ist; d. h. an der beweglichen Rolle wird Gleichgewicht seyn, wenn die Kraft die Hälfte der Last beträgt. Betrüge z. B. die

Last

Last 100 Pfd., so brauchte man in K nur 50 Pfd., um sie zu erhalten. Soll aber die Last auf eine bestimmte Höhe z. B. auf 10 Fuße erhoben werden: so müssen sich beide Seile, FD und BK um 10 Fuße verkürzen, und die Kraft K wird einen Weg von zweimal 10 Fußen d. h. von 20 Fuß zurücklegen müssen. Auch dieses stimmt mit den bekannten Gesetzen des Hebels überein; da gerade eben so viel an Bewegung verloren wird, als der Gewinn an Kraft beträgt.

V. Wenn (Fig. 165.) die bewegliche Rolle ACB mit einem Seile umschlungen ist, welches auch um die feste Rolle DFH so gewunden wird, daß die Richtungen MA, DB, und HK gleichlaufend sind: so kann die Last in L durch ein bei K angebrachtes Gewicht in Ruhe erhalten werden, wenn $K = \frac{1}{2} L$ ist. Man sieht nämlich, daß hier die feste Rolle DFH nur dazu dient, um dem Gewichte K eine Richtung zu geben, nach welcher es lothrecht von oben nach unten wirken kann. Sollte L um 5 Fuß erhoben werden: so müßte K um 10 Fuße herabsinken; so, daß sich der Weg von L zu jenem von K immer wie 1 : 2 verhält.

VI. Wirkte (Fig. 164.) die Kraft W nach der schiefen Richtung VW auf die Rolle ein, so würde das Moment der Last nun wie vorhin $= L \times CD$; das Moment der Kraft aber nunmehr $W \times DS$ seyn, wenn DS das aus D auf die verlängerte Richtung WV gezogene Loth ist. Da nun dieses Loth immer kleiner, als der Durchmesser DB wird: so muß auch das Moment von W hierdurch vermindert werden. Daher wird bei der beweglichen Rolle jede schiefe Richtung der Kraft ihre Wirkung um etwas vermindern; und die vortheilhafteste Richtung wird die lothrechte seyn, da diese auf dem Durchmesser der Rolle senkrecht steht.

VII. Aus der Verbindung mehrerer Hebel der zweiten Art entspringt noch eine sehr wirksame Vorrichtung, an welcher eine große Last durch eine weit schwächere Kraft im Gleichgewichte kann gehalten werden. Der Hebel ABC (Fig 166.) sey in A durch das Seil AU unterstützt, in der Mitte bei B befinde

sich die Last L, und in C wirke nach lothrechter Richtung die Kraft CE: so ist bekannt, daß letztere = $\frac{1}{2}$ L seyn muß, um das Gleichgewicht herzustellen. Wenn aber CE in der Mitte des zweiten Hebels DEF angebracht ist, welcher in D unterstützt, und in F von einer Kraft nach FH gehalten wird: so ist diese Kraft = $\frac{1}{4}$ L, um das Gleichgewicht zu erhalten. Setzt man diese Hebelverbindungen auf ähnliche Art weiter fort: so ist klar, daß die Kraft in I = $\frac{1}{8}$ L; jene in M = $\frac{1}{16}$ L; jene in P = $\frac{1}{32}$ L, und somit auch, durch den gleicharmigen Hebel QRS, jene in T = $\frac{1}{32}$ L seyn müsse, um das Gleichgewicht mit L herzustellen. Da $\frac{1}{32} = \frac{1}{2^5}$ ist: so sieht man, daß die Kraft nach jener Potenz der Zahl 2 vermindert werde, deren Exponent der Zahl aller mit einander verbundenen Hebel der zweiten Art gleich ist. Bewegte sich die Kraft in T durch den Raum = 1: so würde die Bewegung von Q und von P ebenfalls = 1 seyn; aber die Bewegung in O wäre = $\frac{1}{2}$, jene in L = $\frac{1}{4}$; jene in H = $\frac{1}{8}$; jene in E = $\frac{1}{16}$, und jene in B = $\frac{1}{32}$ dieses Raumes; woraus man erkennt, daß diese Vorrichtung zu bedeutender Erhebung der Last nicht geeignet ist.

VIII. Auf diese Hebelverbindung gründet sich der sogenannte Potenzflaschenzug, dessen Einrichtung aus Fig. 167 ersichtlich ist. Die 5 beweglichen Rollen A, B, C, D, E, sind mit Seilen in F, H, I, K und L befestigt; in L befindet sich die Last, und in K an der festen Rolle M ist die Kraft angebracht. Bewegt sich diese nach unten: so dreht sich jede der 5 beweglichen Rollen um ihr Centrum und steigt zugleich im Ganzen empor, wodurch die Last L allmählig erhoben wird. Wäre L = 32 Pfd., so brauchte K nur 1 Pfd. zu seyn, um Gleichgewicht zu halten. Aber was hier an Kraft gewonnen wird, geht wiederum (nach dem allgemeinen Gesetze des Hebels) an Bewegung oder an Zeit verloren. Denn wenn die Rolle E mit der Geschwindigkeit = 1 emporsteigt: so erhebt sich D mit $\frac{1}{2}$, C mit $\frac{1}{4}$, B mit $\frac{1}{8}$, A mit $\frac{1}{16}$ dieser Geschwindigkeit; und wenn die Last L um einen

Fuß steigen soll, so muß die Kraft K einen Weg von 32 Fuß zurücklegen; und es ist klar, daß diese Vorrichtung nicht gebraucht werden kann, wenn die Last auf eine bedeutende Höhe gebracht werden sollte; da aber wird sie recht nützlich seyn, wenn eine sehr große Last nur etwas weniges gehoben werden soll. Auch kann man den Druck berechnen, welchen die Last L auf den Mittelpunkt jeder Rolle und auf jeden der Unterstützungspunkte F, H, I, K und L äußert. Da sich an dieser Vorrichtung die Kraft zur Last verhält, wie 1 zu jener Potenz von 2, deren Exponent der Zahl ihrer beweglichen Rollen gleich ist: so hat sie den Namen Potenzflaschenzug erhalten.

IX. Wenn sich zwei Rollen F und E (Fig. 168.) von welchen diese einen kleinern Durchmesser als jene hat, mit ihren Zapfen in den Höhlungen zweier Seitenstücke, wie Q, S, T frei bewegen können: so heißt dieses eine Flasche. Wird nun eine zweite Flasche MNR verkehrt und lothrecht über die erste gehängt, und ein Seil, welches in R befestigt ist, über die Rollen E, V, T und W so gewunden, daß es bei K wiederum frei wird, und in L die zu bewegende Last angenommen: so nennt man diese Vorrichtung einen Flaschenzug; und es ist klar, daß, wenn die Kraft K die obere Rolle bewegt, auch alle übrigen in Bewegung gerathen, und die Last L erhoben werde. Auch erkennt man, daß jedes um eine der untern Rollen gewundene Seil von der Last eben so stark gezogen werde als das andere; da jede dieser Rollen als ein gegenseitiger Hebel der zweiten Art betrachtet werden kann. Daher wird jedes der vier untern Seile von der Last L mit gleicher Stärke gespannt; und da die obern Rollen nur zur Leitung der Kraft dienen, so wird auch das Seil NK mit dem vierten Theile der Last gespannt werden. Wäre z. B. L = 80 Pfd. so brauchte man bei K nur 20 Pfd. zur Erhaltung des Gleichgewichts. Hieraus entsteht folgendes Gesetz: Am Flaschenzuge verhält sich die Kraft zur Last, wie sich 1 zur doppelten Zahl der untern Rollen verhält.

X. Bestånde der Flaschenzug (Fig. 169.) aus drei untern und aus drei obern Rollen: so würde sich die Last L unter die 6 Seile, welche dieselbe tragen, gleich vertheilen; so, daß jedes derselben nur $\frac{1}{6}$ dieser Last zu tragen håtte. Daher kőnnte man an diesem Flaschenzuge 60 Pfd. mit 10 Pfd. Kraft im Gleichgewichte halten.

Bisweilen sind die Rollen in den Flaschen nicht über einander, sondern neben einander gestellt, in welchem Falle sie auch gleichen Durchmesser haben. Diese Einrichtung findet man håufig bei den in Schiffen gebråuchlichen Flaschenzügen.

Auch an dem Flaschenzuge wird so viel an Bewegung verloren, als der Gewinn an Kraft betrågt. Bei drei untern Rollen würde die Kraft nur $\frac{1}{6}$ der Last betragen; aber um diese z. B. auf 10 Fuß zu erheben, műßte jene einen Raum von 60 Fuß zurücklegen.

Drittes Kapitel.

Rad an der Achse, schiefe Ebene, Keil und Schraube.

Die eben genannten einfachen mechanischen Werkzeuge sind so bekannt, und nützlich, daß sogar das gemeine Leben ihrer nicht entbehren kann. Daher wird die nähere Kenntniß ihrer Einrichtung und Wirkung so lehrreich, als unterhaltend seyn.

§. 1.

Das Rad an der Achse, nebst Anwendungen.

I. An der wagerecht liegenden Welle AB (Fig. 170.) welche sich um die Achsenpunkte A und B, ver-

mittelst der eingesteckten Kreuzhebel CD und EF, bewegen kann, wird das um sie geschlungene Seil nach und nach aufgewunden, und die Last L erhoben. Man nennt diese Vorrichtung gewöhnlich das Rad an der Achse, weil bisweilen anstatt der Hebel ein Rad zur Drehung der Welle angebracht wird. Wenn man diese Maschine aufmerksam betrachtet, so zeigt sie einen ungleicharmigen Hebel der ersten Art. Sein Drehpunkt befindet sich in der Achse AB; die Last wirkt in einer Entfernung, welche dem Radius der Welle; die Kraft aber in einer Entfernung, welche dem Halbmesser der Hebel gleich ist. Daher ist das allgemeine Gesetz für das Gleichgewicht folgendes:

Beim Rad an der Achse verhält sich die Kraft zur Last, wie sich der Halbmesser der Welle zu jenem des Rades, oder zur halben Hebellänge verhält. Nennt man jenen Radius r, diesen R, die Kraft K und die Last L, so ist $K : L = r : R$. Wäre nun z. B. $r = 1$ und $R = 10$, so könnte die Last von 100 Pfd. durch die Kraft von 10 Pfd. erhalten werden. Wirkte aber an den vier Hebelenden C, E, D und F die Kraft mit gleicher Stärke, so würde sie an einem derselben nur $\frac{10}{4} = 2\frac{1}{2}$ Pfd. betragen.

II. Hieraus folgt, daß diese Maschine um so wirksamer werde, je dünner die Welle und je länger die in sie eingesteckten Hebel sind. Doch darf dieser Vortheil nicht zu weit getrieben werden: da die Welle sonst an der nöthigen Festigkeit verlöre, die Hebel aber wegen ihrer unverhältnißmäßigen Länge nicht bequem herum gedreht würden. Auch erkennt man wieder, daß der Gewinn an Kraft mit einem verhältnißmäßigen Verluste an Bewegung verbunden ist. Denn wenn die Welle einmal herumgedreht wurde, so ist die Last um ihre Peripherie emporgestiegen; die Kraft aber hat einen Weg gemacht, welcher dem Umfange jenes Kreises gleich ist, welchen einer der eingesteckten Hebel beschreibt.

Wenn das Seil, welches die Last trägt, eine bedeutende Dicke hat, so muß man seinen Halbmesser

zu jenem der Welle addiren, um die Entfernung der Last mit Genauigkeit zu finden. Legte sich beim Aufwinden der Last das Seil über einander her: so würde dieses ihr Moment vergrößern, und die Bewegung erschweren. Um dieses zu vermeiden, wird das Seil anfangs nach schiefer Richtung um die Welle gelegt.

Das bisherige Verhältniß ging aus der bloßen Theorie hervor. Bei dem praktischen Gebrauche dieser Maschine muß sowohl auf den Widerstand der Reibung, als auch auf die Steifheit des Seils, und auch darauf Rücksicht genommen werden, daß die Last nur durch ein sie überwiegendes Maaß von Kraft in wirkliche Bewegung gesetzt werden kann.

III. Bei dem Rad an der Achse liegt die Welle nicht immer wagerecht. Bisweilen befindet sie sich in der lothrechten Lage MN (Fig. 171.) worin sie durch die Kreuzhebel AB und CD herumgedreht werden kann. Das Verhältniß für Kraft zu Last ist hier dasselbige, wie in der vorigen Lage. Soll aber nunmehr eine Last L erhoben werden: so kann man sehr zweckmäßig die feste Rolle F anbringen, welche das Seil zur Welle leitet, woraus man wiederum den nützlichen Gebrauch fester Rollen erkennt. Gesetzt, an jedem Hebelende wirke ein Mensch mit einer Kraft von 20 Pfd., so wäre ihre vereinigte Wirkung = 80 Pfd.; und, wenn man das Verhältniß von r : R wie 1 : 10 setzte: so könnte hierdurch eine Last von 800 Pfd., im Gleichgewichte gehalten, eine etwas geringere aber in Bewegung gebracht werden. Es ist übrigens nicht einerlei, nach welcher Richtung die Menschen in A, C, B und D auf die Hebelarme wirken. Soll die größte Wirkung Statt finden: so muß der Druck immer lothrecht auf diese Hebel geschehen. Wirkten die Kräfte in schiefer Richtung entweder gegen die Welle hin, oder von derselben hinweg: so würde ein Theil derselben verlohren gehen.

IV. Eine andere sehr nützliche Vorrichtung, welche dem Rad an der Achse ihre Entstehung verdankt, ist der Haspel. Seine gewöhnlichste Einrichtung besteht darin: die wagerecht liegende Welle AB (Fig.

172.) ist um die, bei A und B vorstehenden Zapfen vermittelst der beiden Kurbeln BCD und AEF drehbar, und um dieselbe ist ein Seil geschlungen, woran sich die Last L befindet. Wird nun diese Welle durch die Kurbeln herumgedreht: so kann man die Last auf eine beliebige Höhe erheben. Eine genauere Betrachtung dieser so bekannten als nützlichen Maschine lehrt, daß sie durchaus einerlei mit dem Rade an der Achse ist, und daß sich bei ihr die Kraft zur Last verhält, wie der Radius der Welle zum Radius der Kurbel. Wäre z. B. die Last L = 250 Pfd., das Verhältniß der eben genannten Halbmesser wie 1 : 5; so betrüge die bei CD nöthige Kraft $\frac{250}{5}$ oder 50 Pfd. welches, auf beide Kurbeln vertheilt, für jede eine Kraft von 25 Pfd. gibt: so, daß die Last erhoben wird, wenn diese Kräfte um etwas weniges vergrößert werden. Andere Anwendungen vom Rade an der Achse sind der Hornhaspel, die Erdwinde u. s. w.

V. Auch beruht hierauf die Wirkung des Tretrades, worunter man ein großes, dergestalt eingerichtetes Rad versteht, in dessen Innerem zwei Menschen neben einander stehen, und auf dessen krummer Fläche zum Theil fortschreiten können. Es sey ANEM (Fig. 173.) dieses große Rad, welches um seinen Mittelpunkt C, woran sich eine Welle von Durchmesser CD befindet, bewegt werden kann. Wenn nun der Mensch bei M lothrecht unter C in demselben steht: so befindet sich sein Schwerpunkt senkrecht unter diesem Unterstützungspunkte und das Rad muß in Ruhe bleiben. Schreitet derselbe aber von M bis N vor: so muß man sich durch seinen Schwerpunkt N die lothrechte Linie NB auf den wagerechten Halbmesser CA vorstellen, und BCD ist als ungleicharmiger Hebel der ersten Art anzusehen, an welchem die Last L vermittelst des Seiles DL in der Entfernung CD, die Kraft aber in der Entfernung BC wirksam ist. Daher muß sich für das Gleichgewicht Kraft zu Last wie CD : CB verhalten. Gesetzt, es befänden sich bei N zwei Menschen, deren Gewicht 300 Pfd.

beträge, und es sey CD : CB = 1 : 10; so dürfte sich in L eine Last von 3000 Pfd. befinden, welche durch jene Kraft im Gleichgewichte erhalten würde. Könnten beide Menschen etwas weiter von N gegen A vorschreiten, oder wäre die Last etwas weniges geringer: so würde das Rad in der Richtung von A nach M herumgedreht, das Seil auf die Welle gewunden, und die Last allmählig erhoben werden. Um das Rad in beständiger Bewegung zu erhalten, gehen die darin befindlichen Menschen auf der vor ihnen liegenden krummen Fläche immer weiter vorwärts, wodurch diese unter ihren Füßen zurückweicht. Die Wirksamkeit dieser Maschine ist aber wiederum an die allgemeine Beschränkung gebunden: daß der Gewinn an Kraft nur durch einen gleich großen Verlust an Bewegung erhalten werden kann. Denn wenn z. B. das Rad einen Umlauf macht: so ist die Last nur um die Peripherie der Welle erhoben worden.

VI. Auf der Anwendung dieses Tretrades beruht der sogenannte Krahn, welcher bekanntlich eine der nützlichsten Maschinen fürs gemeine Leben ist. Ein in R (Fig. 174.) befestigtes Seil ist um die bewegliche Rolle HG, aus deren Mitte die Last L herabhängt, gewunden, läuft sodann lothrecht aufwärts nach GB über die feste Rolle B, und nach BA über jene bei A. Von hier ist es in der Richtung AD um die Welle CD gewunden, um deren Mittelpunkt C sich auch das Tretrad FKVW bewegt. Geht nun der in dessen Innerem befindliche Mensch von M gegen K: so bewegt sich das Rad von K gegen M, die Welle erhält eine gleiche Bewegung, das Seil AD windet sich um dieselbe, die festen Rollen A und B werden um ihre Achsen gedreht, und die bewegliche Rolle GH steigt mit der Last L nach und nach empor. Es sey z. B. L 800 Pfd.: so wird die Kraft nach GB, oder nach BA, oder nach AD nur 400 Pfd. seyn. Wäre nun ED : DC = 10 : 1; so betrüge die Kraft in K für das Gleichgewicht nur 40 Pfd. und für die wirkliche Bewegung etwas weniges darüber.

Setzte man das Gewicht zweier, im Innern des Tretrades fortgehenden Menschen = 300 ℔ das Verhältniß von ED : DC = 10 : 1; so würde sie hierdurch eine bewegende Kraft von 3000 ℔ erhalten, welche sich durch die bewegliche Rolle GH noch verdoppeln müßte. Daher dürfte die Last L ein Gewicht von ungefähr 6000 ℔ seyn. Besondere Einrichtungen, welche man dem Krahne für besondere Fälle gegeben hat, muß man entweder aus Zeichnungen, oder durch wirkliche Modelle kennen lernen. Auch werden diese Treträder öfters im Kleinen gebraucht, z. B. bei Nagelschmieden, wo durch einen in seinem Innern fortschreitenden Hund der Blasebalg in steter Bewegung erhalten wird.

§. 2.

Von der schiefen Ebene, als mechanisches Werkzeug.

I. Es sey MR (Fig. 175.) eine, unter dem spitzen Winkel R gegen die Horizontallinie RN geneigte Ebene, wobei MR die Länge, RN die Grundlinie und MN die Höhe (wie bereits oben schon bemerkt wurde,) genennt wird. Es befinde sich auf derselben der Körper L, dessen Schwerpunkt in A ist: so stellt AE die Direktionslinie desselben vor, und man kann sich das ganze Gewicht des Körpers in jedem Punkte derselben wirksam denken. Wenn nun diese Last L durch die Kraft K, welche nach AK mit der schiefen Ebene MR gleichlaufend wirkt, gegen den Fall geschützt werden soll, so ist die Frage: wie sich hier die Kraft zur Last verhalten werde. Zieht man von A die Linie AC nach dem Berührungspunkte C, und aus diesem die Linie CB lothrecht auf AE: so wird, da AC als Radius auf MR als Tangente senkrecht steht, auch CA auf AK lothrecht seyn. Daher stellt ACB einen, um seinen Scheitelpunkt C drehbaren Winkelhebel vor, woran die Last L in der Entfernung CB, die Kraft K aber in der Entfernung CA wirk-

sam ist. Daher verhält sich K : L = CB : CA. Allein das Dreieck ACB ist dem Dreiecke DCB, dieses letztere dem Dreiecke DER, und dieses wiederum dem Dreiecke MNR ähnlich. Daher verhält sich CB : CA = MN : MR, und es wird somit Gleichgewicht seyn, wenn K : L = MN : MR ist. Dieses gibt folgendes Gesetz:

Wenn die Kraft, welche zur Erhaltung der Last auf der schiefen Ebene wirkt, parallel mit ihrer Länge wirksam ist: so muß sich die Kraft zur Last, wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge verhalten.

Wäre z. B. MR = 2MN und L = 50 ℔, so würde eine Kraft von 25 ℔ hinreichen, um diese Last gegen den Fall zu sichern. Aber wohin wirkt der andere Theil der Last? Man findet sogleich, daß dieser als Druck auf die schiefe Ebene MR sich äußert, und durch ihren Gegendruck vollkommen aufgehoben wird. Ueberhaupt sieht man hieraus, daß die Kraft um so geringer zu seyn braucht, je kleiner die Höhe MN und je größer die Länge MR ist. Würde der Neigungswinkel R = 0, so wäre auch MN = 0; d. h. wenn sich die Last L auf der wagrechten Ebene befindet: so ist gar keine Kraft nöthig, um dieselbe zu erhalten. Sie wirkt mit ganzer Stärke auf ihre Unterstützung, und diese wirkt eben so wieder zurücke. Wächst aber der Winkel R bis zu 90°: so muß die Kraft K nunmehr der ganzen Last L gleich seyn, da nun die schiefe Ebene gänzlich wegfällt.

II. Wenn die, auf der schiefen Ebene OPQ (Fig. 176.) befindliche Last L, deren Schwerpunkt in B, und deren Direktionslinie dieses Schwerpunktes BE ist, durch eine Kraft nach der Richtung BK, welche parallel mit der Grundlinie PQ ist, erhalten werden soll: so ziehe man aus dem Berührungspunkte F das Loth FC auf BE und das Loth FD auf BK: so kann man sich unter DFC einen Winkelhebel denken, auf dessen Armen FC und FD die Last und die Kraft lothrecht wirken. Daher muß hier Gleichgewicht seyn,

wenn K : L = FC : FD ist. Da nun FD = CB, so ist auch Gleichgewicht, wenn K : L = FC : CB. Nun sind aber die Dreiecke FCB, CFH, QHE und QOP einander ähnlich, und es verhält sich FC : CB = OP : PQ. Daher muß in diesem Falle Gleichgewicht seyn, wenn K : L = OP : OQ ist. Hieraus ergibt sich folgendes Gesetz:

Wenn an der schiefen Ebene die Kraft in paralleler Richtung mit der Grundlinie wirkt, so wird Gleichgewicht seyn, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie die Höhe der Ebene zu ihrer Grundlinie.

Wäre z. B. OP = $\frac{1}{10}$ PQ, und L = 100 ℔, so würde K = 10 ℔ seyn, und die übrigen 90 ℔ der Last würden als Druckkraft auf die schiefe Ebene kommen.

Da das Verhältniß OP : OQ immer größer seyn muß, als das Verhältniß von OP : PQ; so ist die vortheilhafteste Richtung für die Kraft diejenige, welche mit der Länge der Ebene gleichlaufend wirkt. Wäre BT die Richtung der Kraft, so müßte man von F das Loth FS auf BT ziehen; und da FS < FD ist, so müßte die Kraft in T auch größer, als jene in K seyn.

II. Die schiefe Ebene hat im gemeinen Leben mancherlei Anwendungen. Die bekannte Art, die vollen Fässer aus dem Keller zu bringen, beruht darauf, daß die Schrotleitern eine schiefe Ebene bilden, worauf das volle Faß allmählig fortgleitet. Das Verhältniß zwischen Kraft und Last geht hier aus dem Verhältnisse der Höhe der Kellertreppe zu ihrer Länge hervor. Auch wird das Seil dergestalt um das Faß geschlungen, daß seine Richtung parallel mit der Länge ist. Zur Verminderung der Reibung, wird die Fläche der Schrotleitern mit einer fetten Materie bestrichen. — Bei der Aufführung großer Gebäude werden ebenfalls von außen aus einem Stockwerke zum andern schiefe Ebenen gebaut, um die verschiedenen Baumaterialien hinaufzubringen; was um so

bequemer geschehen wird, je größer ihre Länge und je geringer ihre Höhe ist. — Um einen kegelförmigen Hügel zu ersteigen, wird der Weg nicht in der Seitenrichtung zur Spitze hin, sondern in einem Schneckengange allmählig höher geführt. Dieser gekrümmte Weg bildet hier eine schiefe Ebene von großer Länge und von einer weniger bedeutenden Höhe. Was man hier beim Emporsteigen an Kraft erspart, das geht an Bewegung verloren: so wie auch umgekehrt der kürzeste Weg der mühsamste seyn würde. — Endlich beruht auch die mehr oder weniger bequeme Bauart unserer Treppen auf eben dieser Lehre, wo es wiederum auf das Verhältniß ihrer Höhe zu ihrer Länge ankömmt.

§. 3.

Der Keil und die Schraube.

I. Unter einem Keile oder keilförmigen Körper überhaupt versteht man jeden an seiner äußern Fläche zugespitzten Körper. In diesem Sinne werden die Messer, Scheeren, Beile, Bohrer, Pfriemen, Nadeln u. s. w. keilförmige Werkzeuge genennt. Um aber die Theorie des Keils ungefähr zu entwickeln, kann man sich denselben in Gestalt eines scharfkantigen dreieckigen Prisma vorstellen, dessen Querschnitt ein Dreieck bildet. Wenn dieses Dreieck ein rechtwinkeliges ist, z. B. ABC (Fig. 177.), so nennt man den Keil einen einfachen; ist es aber ein gleichschenkeliges Dreieck, wie DLF (Fig. 178.) welches aus den beiden rechtwinkeligen LED und LEF besteht: so heißt derselbe ein doppelter Keil; DF wird sein Rücken, EL seine Höhe genennt. Daher stellt auch AB (Fig 175.) den Rücken und BC die Länge des einfachen Keils vor.

II. Da der Keil in seiner äußern Gestalt große Aehnlichkeit mit der schiefen Fläche hat: so kann auch das Verhältniß seiner Wirkung aus der Lehre von

der schiefen Ebene abgeleitet werden. Es sey L (Fig. 179) eine Last, welche sich an der Spitze des Keiles ABD befindet, und deren Schwerpunkt in C liegt. Wenn nun eine Kraft lothrecht auf seinen Rücken AD dergestalt einwirkt, daß durch Bewegung des Keils von D gegen B diese Last L nach und nach auf B erhoben wird, bis ihr Schwerpunkt B sich lothrecht über dem Punkte A befindet: so stellt DB den Weg der Kraft, DA aber jenen der Last vor; weil diese zur senkrechten Höhe DA erhoben worden ist. Da sich nun an der schiefen Ebene die Kraft zur Last verhält, wie der Weg der Last zum Wege der Kraft: so wird auch das Vermögen dieses Keiles aus dem Verhältnisse von AD : DB hervorgehen. Daher entsteht das Gesetz:

Bei dem Keile verhält sich die Kraft zur Last, wie sich die Größe seines Rükkens zu seiner Länge verhält.

III. Je kleiner AD und je größer DB, desto wirksamer wird der Keil seyn. Aber je größer BD gegen DA ist, desto kleiner muß auch der Winkel B, d. h. die Spitze des Keils seyn. Daher werden jene Keile, welche größere Schärfen oder feinere Spitzen haben, auch eine größere Kraft zur Trennung des Zusammenhangs der Theile eines Körpers äußern, wie die Erfahrung genugsam beweiset. Hierdurch ist also der physische Grund der größern Wirksamkeit von solchen mehr zugespitzten Keilen nachgewiesen. Da zwei krumme Linien, welche an ihren erhabenen Seiten zusammenstoßen, einen Winkel bilden, welcher kleiner ist, als irgend ein angeblicher spitzer Winkel: so müssen auch jene Keile, welche dergleichen gekrümmte Seitenflächen haben, von vorzüglicher Wirksamkeit seyn. Darum hat die Natur den Raubvögeln gekrümmte Schnäbel gegeben, und aus gleichem Grunde gibt man bisweilen den Schermessern zwei hohlgeschliffene Seitenflächen.

IV. Der Keil dienet entweder zur Trennung des Zusammenhanges der Körpertheile, oder zum Erheben schwerer Lasten, oder auch zum Tragen solcher Lasten.

Im ersten Falle ist z. B. die mechanische Kraft, welche beim Zerspalten des Holzes auf ihn einwirkt, durch das Produkt aus der Masse des schweren Hammers, oder des hölzernen Schlägels, in die Geschwindigkeit zu bestimmen, womit er bewegt wird, und woraus dessen bekannte gewaltsame Wirkungen zu erklären sind. Im zweiten Falle kann eine sehr bedeutende Last durch Keile, welche man nach und nach unter ihre Unterstützung mit Gewalt eintreibt, etwas weniges gehoben werden. Im dritten Falle sieht man die Keile bei Verfertigung der Gewölbe, der hölzernen und steinernen Brückenbogen, u. s. f. wirksam. Auch bedient man sich des Keils sehr vortheilhaft zum Auspressen der Saamenkörner, z. B. bei Oelmühlen.

V. Wenn das rechtwinkelige Dreieck BCE (Fig. 180.) um den Cylinder ABCD dergestalt gewunden wird, daß die Grundlinie CE sich um seine Grundfläche CD aufwickelt: so beschreibt die Hypotenuse BE auf der krummen Fläche dieses Cylinders eine, sich von oben nach unten erstreckende zusammenhängende krumme Linie, welche man die Schraubenlinie heißt. Werden nun nach der Richtung dieser Schraubenlinie die bekannten schraubenförmigen Erhöhungen angebracht: so entsteht die massive Schraube oder die sogenannte Spindel, welche bei CO (Fig. 181.) ungefähr dargestellt ist. Wenn sich in dem Körper MN ähnliche hohle Einschnitte befinden, in welche die massiven Schraubengänge gehörig einpassen: so nennt man dieses die Schraubenmutter oder die hohle Schraube. Der Abstand eines Schraubenganges von dem folgenden heißt die Entfernung zweier Schraubengänge, und die Umfangslinie des schraubenförmig umwundenen Cylinders der Umfang der Spindel. Aus dieser Entstehung der Schrauben folgt, daß dieselben sowohl in Rücksicht des Durchmessers der Spindel, als auch in Hinsicht der Entfernung zweier Schraubengänge von einander verschieden seyn können.

VI. Um die Theorie für die mechanische Wirksamkeit der Schraube zu bestimmen, muß dieselbe als

eine zusammenhängende schiefe Ebene angesehen werden, welche sich rings um die Spindel von oben nach unten, oder von unten nach oben erstreckt. Wenn nun auf der, in der hohlen Schraube MN (Fig. 181.) befindlichen massiven Schraube CO die Last L ruhet, und die Spindel wird einmal ganz und gar herum bewegt: so ist diese Last um die Entfernung zweier Schraubengänge emporgestiegen, und dieser Abstand ist als der Weg der Last anzusehen. Der Weg der Kraft aber ist dem Umfange der Spindel gleich. Da sich nun bei der schiefen Ebene die Kraft zur Last, wie der Weg der Last zum Wege der Kraft verhält: so muß sich bei der Schraube die Kraft zur Last, wie die Entfernung zweier Schraubengänge zum Umfange der Spindel verhalten. Weil die Entfernung zweier Schraubengänge jedesmal viel kleiner ist, als der Umfang der Spindel: so wird auch die Kraft eben so vielmal kleiner, als die Last seyn müssen. Hieraus folgt, daß nicht alle Schrauben von gleicher Wirksamkeit sind. Je kleiner der Abstand ihrer Schraubengänge, und je größer der Durchmesser ihrer Spindel ist, desto wirksamer müssen dieselben seyn. Aber man sieht auch hieraus, daß die Last durch solche Schrauben nur in geringerem Maaße erhoben wird.

VII. Hieraus folgt, daß die Kraft der Schraube um sehr vieles vergrößert werde, wenn man an der Spindel OC den Hebel ED anbringt; so, daß die Kraft an dessen beiden Enden E und D wirken kann. Hier verhält sich nämlich die Kraft zur Last, wie der Abstand zweier Schraubengänge zum Umfange jenes Kreises, dessen Durchmesser ED ist. Wäre z. B. die Entfernung zweier Schraubengänge = 1, der Halbmesser CD = 20: so würde ED = 40, und die Peripherie des Kreises größer, als 120 seyn. Es würde sich also hier die Kraft zur Last, wie 1 : 120 verhalten; und wenn jede der bei E und D wirksamen Hände eine Kraft von einem Pfunde äußerte: so würde hieraus ein Druck von 240 ℔ hervorgehen.

VIII. Im gemeinen Leben wird die Schraube entweder als Hebemaschine, oder als Druckma-

schine gebraucht. Im ersten Falle kann sie nicht dazu dienen, um die Last auf bedeutende Höhen zu erheben, weil die Spindel noch höher als diese seyn müßte. Aber wenn es darauf ankömmt, eine sehr bedeutende Last auf eine geringe Höhe emporzuheben, so werden die Schrauben mit großem Nutzen angewendet; besonders, wenn man längere Hebel durch die Spindel steckt, an deren Enden mehrere Menschen wirksam sind. Durch solche Schraubenverbindungen läßt sich das ganze Dachgebälke eines Gebäudes etwas weniges erheben, was durch andere mechanische Kräfte nicht so bequem geschehen könnte. Auch findet man ähnliche Vorrichtungen bei Schiffbrücken, um den Antritt auf dieselben bei niedrigem Wasserstande etwas zu erheben und beim hohen Wasserstande zu erniedrigen.

Als Druckmaschine ist die Schraube allgemein bekannt. Alle Arten von Pressen, so wie auch die Schraubenkeltern im Großen, und mancherlei Vorrichtungen, um Körper fest zusammen zu halten oder fest zu stellen, beruhen darauf. Aber warum kann man, nachdem die Schraube fest zusammengepreßt wurde, die zusammenpressende Kraft wegnehmen, ohne daß die Schraube sich wiederum zurückbewegt: da doch bei jeder andern einfachen Maschine nach weggenommener Kraft die Last in Bewegung geräth? Der Grund hiervon liegt in der großen Reibung, welche da statt findet, wo die massiven Schraubengänge die hohlen vielseitig berühren, und welche groß genung ist, den bestehenden Druck fortdauernd auszuüben. Doch lehrt die Erfahrung, daß die Spindel, bei einem sehr weit getriebenen Zusammenpressen der Schraube, sich um etwas weniges rückwärts bewegt, wenn die wirksame Kraft weggenommen wird.

IX. Die äußerst bedeutende Druckkraft, welche man durch Schrauben hervorbringen kann, soll zum Schlusse dieser Lehre an der Schraubenkelter in einem Beispiele ungefähr berechnet werden. Es befindet sich hier in der Spindel der großen Druckschraube ein langer Hebel, woran ein Seil befestigt und über

eine

eine stehende Welle geführt wird, welche man durch vier Kreuzhebel und durch vier an ihren Enden wirkende Menschen herum drehen kann. Es sey der Abstand zweier Schraubengänge = 2″, die Länge jenes Hebebaumes = 10′: so verhält sich die Kraft zur Last wenigstens wie 2 : 600, d. h. wie 1 : 300. Ferner sey der Halbmesser der lothrechten Welle = 1, und jener des eingesteckten Hebels = 10, so wird das Verhältniß von Kraft zur Last = 1 : 3000. Wenn nun jeder der vier Menschen eine Kraft von 40 ℔ anwendet: so erhält man das Verhältniß von 1 : 480000. Rechnet man auch für die Reibung und andere Hindernisse der Bewegung etwas Bedeutendes hiervon ab, so bleibt immer noch eine außerordentlich große Druckkraft übrig; woraus man im Stande ist, sich die bekannten Wirkungen der Schraubenkelter zu erklären.

Viertes Kapitel.

Einige zusammengesetztere mechanische Werkzeuge. Die Reibung.

Gewöhnlich theilt man die mechanischen Verrichtungen in einfache und zusammengesetzte ein. Unter jenen versteht man den Hebel, die Rollen und Flaschenzüge, das Rad an der Achse, die schiefe Ebene, den Keil und die Schraube: weil ihre Wirkung größtentheils aus der einfachen Theorie des Hebels hervorgieng. Da aber aus diesen einfachen Verrichtungen auch zusammengesetztere entspringen, welche höchst wichtig für praktische Anwendungen sind: so sollen die bekanntesten davon nun noch näher betrachtet werden. An diese Lehre schließt sich sodann die

Untersuchung jenes Widerstandes an, welchen man die Reibung nennt.

§. 1.

Einige zusammengesetztere mechanische Werkzeuge.

I. Wenn eine Kreisscheibe an ihrem Umfange mit Zähnen versehen ist, und um ihren Mittelpunkt gedreht werden kann: so nennt man sie ein Zahnrad. Entweder liegen diese Zähne innerhalb der Fläche seines Kreises, oder sie stehen senkrecht darauf. Im ersten Falle heißen sie Stirnräder z. B. (Fig. 180. und 181.); im letztern aber Kronräder (dergleichen z. B. das bekannte Kronrad in den Sackuhren ist). Unter einem Triebstocke versteht man ein kleineres, etwa mit 6 — 8 Zähnen versehenes Rad, oder auch zwei parallele Kreisscheiben, welche an ihrem Umfange durch 6 — 8 cylindrische Stäbe verbunden sind, wodurch sie in die Zähne eines Stirnrades eingreifen, und dasselbe umher bewegen.

II. An dem Mittelpunkte des Stirnrades PAQ (Fig. 182.) befinde sich eine kleine Welle von dem Durchmesser CD, woran die Last L an einem Seile herabhängt. Sollte nun diese Last durch eine Kraft, welche an dem Zahne bei A wirksam ist, ins Gleichgewicht gebracht werden: so muß man sich den Winkelhebel ACD denken, bei welchem CD die Entfernung der Last, CA aber die Entfernung der Kraft ist. Daher wird sich Kraft zur Last verhalten, wie CD : CA, d. h. wie sich der Radius der Welle zum Radius des Rades verhält. Man findet also die in A nöthige Kraft durch den Ausdruck $\frac{CD \times L}{AC}$.

Ist nun mit diesem Stirnrade noch der Treibstock RS verbunden, dessen Zähne in jene des Stirnrades eingreifen, und welcher durch eine Kurbel vom Halbmesser mK bewegt werden kann: so ist klar, daß die

Kraft $\frac{CD \times L}{AC}$ an dem Hebel mn ein Moment = $\frac{CD \times L \times mn}{AC}$ habe, und daß die in K zur Erhaltung des Gleichgewichts nöthige Kraft = $\frac{CD \times L \times mn}{AC \times Km}$ sey. Hieraus folgt das Gesetz:

Es verhält sich hier die Kraft zur Last, wie sich das Produkt, aus dem Radius der Welle in den Radius des Triebstocks, zum Produkte, aus dem Radius des Rades in den Radius der Kurbel, verhält.

Denn aus obigem Ausdrucke folget K : L = CD × mn : AC × Km. Wäre z. B. CD : AC = 1 : 12 und mn : Km = 1 : 10, so erhielte man K : L = 1 : 120; woraus die Wirksamkeit dieser Vorrichtung deutlich hervorgeht: da man eine Last von 120 ℔ mit einer Kraft, welche etwas mehr als 1 ℔ beträgt, erheben könnte.

III. Was aber bei dieser Zusammensetzung zweier Räder an Kraft gewonnen wird, das geht wiederum an Bewegung verloren, und wenn im vorigen Beispiele die Last L um einen Fuß soll gehoben werden: so muß die Kraft einen Raum von 120 Fuß beschreiben, wie leicht aus den angenommenen Verhältnissen nachgewiesen werden kann.

Hätte z. B. das Stirnrad PQ 48 Zähne, der Triebstock RS aber 8 Zähne: so würde dieser (da $\frac{48}{8}$ = 6 ist) sechs Mal herumgedreht werden müssen, bis das Rad nur Einen Umlauf macht, d. h. bis die Last zu einer Höhe gebracht ist, welche dem Umfange der Welle gleich kömmt. Hätte aber das Rad z. B. 65 Zähne: so würden nach und nach immer andere Zähne des Triebstocks mit andern Zähnen des Rades in Berührung kommen, da im vorigen Falle nach 6 Umdrehungen des Triebstocks wiederum dieselbige Ordnung eintritt.

Betrachtet man diese Verbindung zweier Räder etwas genauer, so zeigt sie sich sogleich als einen zu-

sammengesetzten Hebel; welcher, obwohl er als solcher nicht im Stande ist, die Last bedeutend zu bewegen, dennoch diese sehr wirksame Vorrichtung begründet, bei welcher die zwei Hebel sich in Räder verwandeln, welche nunmehr eine Bewegung ins Unendliche möglich machen.

IV. Wenn um die wagerecht liegende Welle MN (Fig. 133.) drei vorstehende Schraubengänge H, I und R so gewunden sind, daß sie in die Zähne des Stirnrades PQ eingreifen, wenn jene Welle vermittelst der Kurbeln bei E und F herumgedreht wird: so nennt man dieses eine Schraube ohne Ende. Der Grund dieser Benennung beruht darauf, daß die Spindel MN ohne Ende herumgedreht werden kann, wodurch auch das Rad PQ in steter Bewegung erhalten wird. Auch sieht man sogleich, daß eine Umdrehung der Spindel MN einen Zahn des Rades PQ forttreiben wird; und daß jene Spindel so oft herumgedreht werden muß, als die Anzahl der Zähne des Stirnrades beträgt: bis dieses einen ganzen Umlauf gemacht hat. Da die Spindel MN nach der Theorie der Schraube, d. h. nach dem Verhältnisse des Abstandes zweier Schraubengänge zum Umfange der Kurbel; das Stirnrad aber nach dem Verhältnisse vom Radius der Welle zum Radius des Rades wirksam ist: so folgt, daß sich bei dieser zusammengesetzten Vorrichtung die Kraft zur Last verhält, wie das Produkt aus dem Radius der Welle in die Entfernung zweier Schraubengänge sich zum Produkte aus dem Radius des Rades in den Umfang der Kurbel verhält. Wäre z. B. CB : CA = 1 : 10, und HI zum Radius der Kurbel = 1 : 8, wo denn der Umfang dieser Kurbel wenigstens = 48 wäre: so würde K : L = 1 : 8 × 48 = 1 : 384; d. h. ein Pfund Kraft würde im Stande seyn, 384 Pfunde Last in Ruhe zu erhalten, und ein kleiner Ueberschuß von Kraft würde diese Last in Bewegung setzen.

Was aber hierbei die Kraft gewinnt, ist wieder mit einem gleich großen Verluste von Bewegung ver-

bunden. Wenn nämlich die Kraft in E den Umfang ihres Kreises beschrieben hat: so ist das Rad PQ nur um einen Zahn umgedreht, und die Last nur um etwas sehr Unbedeutendes erhoben worden. Die genauere Berechnung hierüber kann leicht geführt werden.

V. Wenn man mehrere Zahnräder, von gleichen Durchmessern und mit Triebstöcken versehen, gehörig verbindet: so entsteht hieraus ein höchst wirksames Hebezeug. Die Figur 184. stellt eine solche Verbindung der Zahnräder A, B, C, D und E vor; an der Welle des ersten Rades hängt die Last L herab, und an dem Hebel des letzten Rades in K wirket die Kraft. Die Last L gibt dem Rade A ein Streben, sich von der Rechten zur Linken aufwärts zu bewegen, wodurch das Rad B vermittelst seines Triebstocks eine Bewegung nach entgegengesetzter Richtung erhält. Das C bekömmt sodann wieder die Richtung von A; D jene von B, und E wiederum jene von C und von A. Wirkt daher die Kraft K ebenfalls lothrecht von oben nach unten: so ist sie der Last L entgegengesetzt, und beide werden einander im Gleichgewichte halten können

Man sieht sogleich, daß diese Räder mit ihren Triebstöcken einen zusammengesetzten Hebel bilden; woran der Radius der Welle und die Radien der Triebstöcke die Entfernungen der Last, die Halbmesser der Räder aber jene der Kraft bezeichnen. Daher muß sich die Kraft zur Last verhalten, wie sich das Produkt, aus dem Radius der Welle in alle Radien der Triebstöcke, zum Produkte aus allen Radien der Räder verhält. Da jene Halbmesser viel kleiner, als diese sind, so erkennt man hieraus die große Wirksamkeit dieser Zusammensetzung. Setzt man dieses Verhältniß bei allen $= 1 : 10$, so wäre $K : L = 1 : 100000$.

Diese große Verstärkung der Kraft ist aber wieder mit einer verhältnißmäßigen Verminderung der Bewegung der Last verbunden. Denn eine Umdrehung des Rades E bewirkt für D nur $\frac{1}{10}$; für C nur $\frac{1}{100}$; für B nur $\frac{1}{1000}$; für A nur $\frac{1}{10000}$ dieser Umdrehung; und die Last L kann, da die Welle im

Umfange 10 Mal kleiner, als der Umfang des Rades A ist, nur um $\frac{1}{100000}$ emporsteigen. Daher muß auch das Rad E nunmehr 100000 Umläufe machen, bis die Last L um die Peripherie der Welle gestiegen ist. Man darf daher bei praktischen Anwendungen das Vermögen der Kraft nicht allzusehr steigern; sondern muß ein gewisses Mittel beobachten. Uebrigens ist klar, daß die Last auf die Achsen der 5 Räder einen sehr verschiedenartigen Druck äußere, welcher beim Rade A am größten, bei E aber am geringsten ist. Zur praktischen Bestätigung dieser Wirkungen pflegt man mehrere Zahnräder von Messing zwischen zwei Metallplatten so anzubringen, daß durch leichtes Umdrehen einer kleinen Kurbel einige Menschen, welche das Ende des um eine Welle gewundenen dünnen Seiles anfassen, nach und nach herbeigezogen werden.

VI. Will man die Zahl der Umdrehungen finden, welche jedes dieser mit einander verbundenen Zahnräder macht, so ist die allgemeine Regel diese:

Man dividire die Zahl seiner Zähne durch jene des Triebstocks, welche in dieselbige eingreifen: so gibt der Quotient die Menge der Umdrehungen an, welche der Triebstock bei einem Umlaufe des Rades zu machen hat.

Hätte das Rad 40, der in dasselbe eingreifende Triebstock 5 Zähne: so würde dieser 8 Umdrehungen zu machen haben, bis das Rad nur Eine vollendet. Befände sich noch ein zweites Rad nach gleichem Verhältnisse damit in Verbindung: so würde der erste Triebstock 8 × 8 oder 64 Umläufe machen müssen, bis das letzte Rad einen Umlauf vollendet. Eine genauere Berechnung bestätigt auch hier wieder das schon vielfach bekannte Gesetz: der Gewinn an Kraft kann nur durch einen gleich großen Verlust an Bewegung der Last erreicht werden.

VII. Bisweilen wird erfordert, daß man anstatt eines größern Rades zwei kleinere so zusammensetzen soll, daß sie mit jenem dasselbige mechanische Vermö-

gen besitzen. Hier dividire man den Radius seiner Welle durch den Radius des Rades, und zerlege diesen ächten Bruch in zwei schickliche Faktoren: so stellen die beiden Zähler der neuen Brüche die Radien der Triebstöcke, ihre beiden Nenner aber die Halbmesser der Räder vor. Wäre z. B. jener erste Bruch $= \frac{24}{2000}$, so hätte man $\frac{24}{2000} = \frac{4}{40} \times \frac{6}{50}$, und man könnte anstatt des größern Rades die zwei kleinern setzen, deren Treibstöcke die Radien 4 und 6 und deren Räder die Halbmesser 40 und 50 hätten. Auf ähnliche Weise lassen sich auch, anstatt Eines großen Rades, 3 oder 4 kleinere finden, welche mit jenem dieselbige Wirkung äußern. Doch ist für die praktische Anwendung zu bemerken, daß die Vermehrung der Räder auch die entstehende Reibung vermehret, wodurch die zur Bewegung anzuwendende Kraft wiederum etwas vergrößert werden muß.

VIII. Auch verdient die Wagenwinde hier eine Erwähnung. Sie besteht aus einer gezähnten Eisenstange, in welche die Zähne eines kleinen eisernen Rades eingreifen. Wird nun dieses Rad durch eine an seinem Mittelpunkte befindliche Kurbel herumgedreht: so muß die gezähnte Stange aufwärts oder abwärts bewegt werden. Die hieraus entstehende Vermehrung der Kraft kann leicht berechnet werden. Wenn aber das kleine, in die gezähnte Stange eingreifende Rad vermittelst eines Triebstocks, an dessen Achse die Kurbel angebracht ist, bewegt werden kann: so ist diese Vorrichtung, wie von selbst erhellet, noch wirksamer. Auch kann man eine Schraube ohne Ende zur Bewegung des kleinen Stirnrades anbringen. Aus dieser Zusammensetzung ist es nicht schwer, die großen Wirkungen zu erklären, welche man durch Hülfe der Wagenwinde als Hebezeug großer Lasten hervorbringt.

Vielerlei andere Zusammensetzungen mechanischer Werkzeuge werden hier übergangen; theils weil ihre Theorie aus den bisherigen Lehren hervorgeht, theils, weil die Beschränktheit des Raumes eine größere Weitläuftigkeit nicht gestattet.

§. 2.

Das Wichtigste der Lehre von der Reibung.

I. Die bisher entwickelte Theorie vom Gleichgewichte und von der Bewegung einfacher und zusammengesetzter mechanischer Werkzeuge hat durchaus von einem Hindernisse abgesehen, welches in praktischen Anwendungen der bewegenden Kraft mehr oder weniger Widerstand leistet. Dieses Hinderniß ist die Reibung oder die Friktion. Es befinde sich der Körper A (Fig. 185.) auf der wagerechten Ebene MN, so wird derselbe mit seinem ganzen Gewichte auf dieselbige einwirken. Gesetzt, es betrage 5 ℔: so wird sein Druck gegen die Ebene 5 ℔ betragen. Da aber diese Ebene mit der nämlichen Kraft von 5 ℔, vermöge des allgemeinen Gesetzes von Wirkung und Gegenwirkung, gegen den Körper zurückwirkt: so müßte das ganze Gewicht desselben durch diese Gegenwirkung aufgehoben werden, und der Körper selbst von jeder, auch noch so kleinen Kraft in Bewegung gerathen. Da aber die Erfahrung lehrt, daß zur Fortbewegung dieses Körpers bisweilen sogar eine sehr bedeutende Kraft erforderlich ist, so entsteht die Frage: worin der Grund dieses Widerstandes zu suchen sey?

II. Wenn man die Oberflächen der Körper mit unbewaffnetem, oder mit bewaffnetem Auge betrachtet: so zeigen sich dieselben mehr oder weniger uneben, d. h. man entdeckt mancherlei Erhabenheiten und Vertiefungen an denselben. Da dieses nun auch bei jenen beiden Flächen der Fall ist, in welchen sich der Körper A und die Ebene MN berühren: so kann man sich denken, daß diese gegenseitigen Unebenheiten in einander (gleichsam wie feine Häkchen) eingreifen, und bei der Fortbewegung des Körpers aus einander gerissen werden müssen. Der hierdurch entstehende Widerstand ist die Reibung, deren physischer Grund somit in den größern oder kleinern Unebenheiten der Oberflächen physischer Körper zu suchen ist. Auch ergibt sich hieraus, das bei allen physischen Körpern,

welche über einander wegbewegt werden, eine theils größere, theils geringere Reibung Statt finden muß.

III. Die große Verschiedenheit dieses Widerstandes wird ebenfalls durch viele Erfahrungen bestätigt. Ein Stein, auf der ebenen Fläche des glattgefrornen Wassers liegend, kann, auch wenn sein Gewicht nicht unbedeutend ist, durch Anwendung einer kleinen Kraft in Bewegung gerathen. Befände sich dieser Stein auf dem gewöhnlichen Boden: so könnte er nur durch Anwendung bedeutender Kräfte fortbewegt werden. Um die Größe dieses Widerstandes ungefähr zu bemessen, kann folgender Versuch angestellt werden. Auf dem Brette AB (Fig. 186.) ruhe der vierkantige Holzkörper K, an welchem nach der Richtung CD mit AB gleichlaufend, ein Faden befestigt ist; welcher über eine kleine, bei D befindliche, leicht bewegliche Rolle nach F herabläuft, und hier die kleine Wagschale H trägt. Bringt man nun nach und nach kleine Gewichtstheile in dieselbe, bis der Körper K durch ihre zunehmende Last einmal gegen B fortgleitet: so bestimmt dieses Auflegegewicht ungefähr die Größe der Reibung, welche bei diesen zwei Körpern Statt findet. Wenn man sowohl die Ebene AB, als auch den über sie her gleitenden Körper von anderer Materie annimmt: so ergeben sich immer verschiedene Resultate; zum Beweise, daß die Größe der Reibung sehr verschieden sey. Besonders wird die größere Rauheit der sich berührenden Flächen dieselbe vermehren; ihre größere Glätte aber dieselbe bedeutend vermindern. Hieraus folgt, daß die Größe der Reibung eine sehr veränderliche sey, welche im Allgemeinen nur nach einem gewissen Mittel bestimmt werden kann. Als solches mittleres Resultat kann man annehmen, daß die Größe der Reibung $\frac{1}{3}$ der bewegten Last betrage.

IV. Bei den hierüber angestellten Versuchen hat es sich ergeben, daß die Reibung eines über eine Ebene weggleitenden Körpers immer die nämliche sey, es mag derselbe nach seiner größern Fläche AB (Fig. 184.) oder nach seiner kleinern Fläche BC über die-

selbe hinweg bewegt werden. Wenn man die Größe der Reibung einzig der Menge der gegenseitigen Berührungspunkte proportional setzte, so könnte dieses unerklärlich scheinen. Erwägt man aber, daß es auch auf den Druck ankomme, womit beide Flächen gegen einander gepreßt werden: so läßt sich eine Erklärung davon geben. Wäre die Fläche AB noch einmal so groß, als BC, so enthielte jene noch einmal so viel Berührungspunkte als diese; allein jeder dieser Punkte würde, wenn der Körper auf AB liegt, nur mit der Hälfte jener Kraft herabgedrückt, welche auf jeden Punkt wirksam ist, wenn der Körper auf der Fläche BC ruhet. Denn da er hier noch einmal so hoch ist: so erleidet jeder Punkt in BC die doppelte Druckkraft. Beides scheint sich so auszugleichen, daß immer das nämliche Resultat Statt findet.

V. Man muß zweierlei Arten der Reibung unterscheiden; die gleitende und die rollende. Jene hat da Statt, wo dieselbige Fläche eines Körpers nach und nach über andere Punkte des andern Körpers fortschreitet; wie z. B. der Körper K (Fig. 187.), welcher von A nach B fortgleitet; oder wie sich ein viereckiger Holzkörper auf einer gehörig geneigten schiefen Ebene herabbewegt. Die rollende Reibung aber tritt dann ein, wenn verschiedene Punkte des einen Körpers über verschiedene Stellen des andern hinwegbewegt werden. Auf diese Weise sagt man: der Cylinder rollet von der schiefen Ebene herab; das Rad rollet auf der Ebene fort, u. s. w.. Man erkennt sogleich, daß die rollende Reibung im Allgemeinen kleiner, als die gleitende sey, welches auch durch die Erfahrung hinlänglich bestätigt wird. Bei jener heben sich die gegenseitig in einander eingreifenden Erhöhungen und Vertiefungen ohne bedeutenden Widerstand aus einander heraus; bei dieser aber müssen sie mit größerer Gewalt aus einander losgerissen werden. Ein Rad, welches man sich einmal als auf der Ebene fortgleitend, und sodann über sie hinweg rollend, vorstellt, erläutert dieses am faßlichsten.

VI. Aus allem diesem geht hervor, daß die Reibung in der praktischen Mechanik gewöhnlich als eine Last zu betrachten ist, welche man, wenn es auf freie und leichte Beweglichkeit ankömmt, möglichst vermindern muß. Diese Last wirkt aber nicht blos nach ihrer absoluten Größe; sie muß vielmehr nach ihrem Momente d. h. nach dem Produkte aus ihrem absoluten Werthe in ihre jedesmalige Entfernung bemessen werden; wie folgende Beispiele erläutern werden.

Ein vierrädriger, mit seiner Ladung 2000 ℔ wiegender Wagen ruhe auf der Ebene, die Räder seyen gleich groß, und man soll die ungefähre Größe der Reibung bestimmen, welche hierbei Statt findet. Da die gesammte Last 2000 ℔ beträgt: so kömmt auf die Achse jedes Rades ein Druck von 500 ℔; oder, da die Reibung im Mittel ein Dritttheil der Last beträgt, ein Druck von etwa 166 ℔. Diese Reibung wirkt aber da, wo der Umfang der Achse die Höhlung der Nabe berührt; und da die Kraft der Pferde, vom Centrum jedes Rades ausgehend, mit dem Boden parallel wirkend angenommen wird: so stellt jedes Rad einen Hebel vor, dessen Bewegpunkt auf dem Boden ist, dessen Last in der Entfernung vom Radius der Achse, und dessen Kraft in jener vom Halbmesser des Rades wirkt. Setzt man jenen Radius $= 1$, diesen $= 10$: so wird das Moment der Reibung $= 166 \times 1 = 166$, und die Kraft welche dieser Last das Gleichgewicht hält, ist $= \frac{166}{10} = 16{,}6$; d. h. sie beträgt 16 bis 17 ℔, und somit für die vier Räder etwa 64 bis 68 ℔. Zögen nun an diesem Wagen zwei Pferde, deren jedes eine Muskelkraft von ungefähr 40 ℔ anwendet: so würde obige Last von 2000 ℔ in Bewegung gerathen. Wenn dieselbe einmal in wirklicher Bewegung ist, so bedarf es, nach dem Gesetze des Beharrungsvermögens, nur einer kleinern Kraft, um dieselbe darin zu erhalten. Aus dieser Entwickelung folgt, daß bei Fuhrwerken die eisernen Achsen den hölzernen deßhalb vorzuziehen sind: da jene, bei gleicher Stärke mit diesen, weit dünner seyn dürfen,

wodurch das Moment der Reibung bedeutend vermindert wird.

VII. Auch kann die Krämerwage zur Erläuterung des Moments der Reibung dienen. Es sey dieselbe mit den gleichen Gewichten $P = Q$ beschwert; das Gewicht des Wagebalkens und der leeren Schalen sey $= W$: so ist der Druck auf ihre Achse $= 2P + W$, somit die absolute Größe der Reibung $= \frac{1}{3}(2P + W.)$ Nun sey in der einen Schale ein kleines Gewicht $= x$, welches einen Ausschlag hervorbringen soll, und dessen Größe zu bestimmen ist. Da dieses kleine Gewicht den Gesammtdruck vermehrt: so beträgt dieser nunmehr $2P + W + x$, und die Größe der Reibung ist $= \frac{1}{3}(2P + W + x)$. Nun sey der Halbmesser der Achse $= e$, und der halbe Wagebalken $= a$. Soll nun x einen Ausschlag geben: so muß die Reibung an der Achse überwunden werden. Da aber das Moment dieser Reibung $= \frac{1}{3}(2P + W + x) \times e$ ist; das Gewicht x aber ein Moment $= ax$ hat: so entsteht folgende Gleichung:

$\frac{1}{3}(2P + W + x) \times e = ax$, oder

$(2P + W + x) \times e = 3ax$, und

$$2P + W + x = \frac{3ax}{e}, \text{ oder}$$

$$2P + W = \frac{3ax}{e} - x; \text{ daher}$$

$$2P + W = \left(\frac{3a}{e} - 1\right) \times x, \text{ und}$$

$$x = \frac{2P + W}{\frac{3a}{e} - 1} = \frac{2P + W}{\frac{3a - e}{e}} = \frac{(2P + W) \times e}{3a - e}$$

Wenn hier der Werth von a, d. h. die Größe des Wagebalkens, unverändert bleibt; die Größe von e aber, d. h. die Größe des Halbmessers der Achse abnimmt: so wird auch der Werth von x immer kleiner werden. Dieses heißt mit andern Worten: je dünner der Zapfen der Wage ist, desto beweglicher muß die Wage selbst werden, weil hierdurch das Moment der Reibung vermindert wird.

VIII. Mittel, die Reibung zu vermindern, sind folgende:

1) Man vermindere das Gewicht der Körper, welche sich über einander wegreiben. Denn je größer dieses Gewicht ist, desto größer muß auch die Kraft seyn, welche die gegenseitigen Erhabenheiten und Vertiefungen aus einander reißt.

2) Man vermindere die Zahl der gegenseitigen Berührungspunkte. Darum gibt man auch den Achsen mancher Wagen nicht eine cylindrische, sondern eine herzförmige Gestalt.

3) Man vermeide, daß die Reibung zwischen Körpern von einerlei Art Statt findet; da die Versuche lehren, daß die Reibung hier größer, als bei verschiedenartigen Körpern unter übrigens gleichen Umständen ist. So ist z. B. die Reibung zwischen Stahl und Messing weit geringer, als zwischen Stahl und Stahl, oder zwischen Messing und Messing.

4) Je härter die Körper sind, welche sich über einander reiben, desto geringer ist die Friction; wie z. B bei gehärtetem Stahle auf Glockenmetall oder auf Achat.

5) Bei Hölzern ist die Reibung nach der Länge der Fasern bedeutend geringer, als nach irgend einer andern Richtung.

6) Dienen ölige oder fettige Körper zur Verminderung der Reibung; z. B. für die Metalle, reines Baumöl; für die Hölzer, Seife, u. s. w.; da durch diese Zwischenmittel die Oberflächen mehr geglättet werden.

IX. Obwohl die Reibung in vielen Fällen nachtheilig ist: so gewährt sie doch unschätzbare Vortheile. Ohne Reibung könnte man sogar auf der Ebene nicht mit Sicherheit stehen, da der kleinste Anstoß unsern Körper bewegen müßte; auch könnte man ohne besondere Hülfsmittel schiefe Ebenen weder hinauf- noch herabsteigen. Die Sicherheit, womit

schwer beladene Wägen schiefe Ebenen herabfahren, indem man den sogenannten Hemmschuh anleget, beruht darauf: daß hier die rollende Reibung in eine gleitende, somit in eine größre verwandelt wird. Ferner beruht der Gebrauch der Schraube in ihren höchst mannigfaltigen Anwendungen als Druckmaschine, auf der Wirkung dieser Reibung; woraus auch der Gebrauch der Stricke bei dem Festbinden, nebst einer unzähligen Menge anderer Erscheinungen in der Natur und Kunst, hervorgeht.

Folgende Bücher sind in der Hennings'schen Buchhandlung zu haben.

Bechstein, Dr. J. M., Forstbotanik, oder vollständige Naturgeschichte der deutschen Holzpflanzen und einiger fremden. Ein Handbuch für Forstmänner und solche, die es werden wollen. Zweite verbesserte und wohlfeilere Ausgabe. Mit Kupfern. gr. 8. 3 thlr.

Bellermann, J. J., Abhandlungen, ökonomischen, technologischen, naturwissenschaftlichen und vermischten Inhalts. 8. 8 gr.

Bernhardi's; D. J. J., Handbuch der Botanik. Mit Kupfern. gr. 8. 1 thlr. 16 gr.

— Bemerkungen über die Pflanzen-Gefäße, und eine neue Art derselben. Mit Kupfern. gr. 8. 14 gr.

Brakens verbesserte Roßarzneikunde, aus dem Engl. übersetzt. gr. 8. 14 gr.

Cavallos, Tib., ausführliches Handbuch der Experimentalnaturlehre in ihren reinen und angewandten Theilen. Aus dem Englischen, mit Anmerkungen von Dr. J. B. Trommsdorff. 4 Bände. Mit Kpfrn. gr. 8. 7 thlr. 8 gr.

— leicht faßliche Darstellung der Lehre der Elektrizität, des Galvanismns und des Magnetismus. Aus dem Englischen der neuesten Auflage mit Anmerkungen übersetzt von Dr. Joh. Barth. Trommsdorf. (Aus Cavallo's Handbuch der Naturlehre besonders abgedruckt.) Mit Kupfern. 8. 1 thlr. 4 gr.

Dahler, M, J. G., Handbuch zum Gebrauch bei Vorlesungen über die Geschichte der Literatur und der Kunst. gr. 8. 2 thlr.

Dumeril, Dr. A. M. C., allgemeine Naturgeschichte. Zum Gebrauch für die französischeu Schulen auf Befehl der Regierung entworfen, und für deutsche Schnien, Lehrer, Erzieher, bearbeitet von einer Gesellschaft Gelehrten. gr. 8. 1 thlr. 16 gr.

Ehrmanns, Th. Fr., allgemeines historisch-statistisch-geographisches Handlungs-, Post- und Zeitungslexicon für Geschäftsmänner, Handelsleute, Reisende und Zeitungsleser, enthaltend in alphabetischer Ordnung eine genaue planmäßig vollständig historische, statistische und topographische Beschreibung aller Erdtheile, Länder, Staaten, Inseln, Bezirke, Gebiete, Herrschaften, Völker,

Meere, Seen, Flüsse, Wälder, Berge, Städte, Festungen, Schlösser, Stifter, Seehäfen, Handelsplätze, Fabrikörter, Gesundbrunnen und Bäder, Poststationen, Flecken und überhaupt aller in irgend einer Hinsicht bemerkenswerthen Ortschaften und Gegenden der Erde, mit Anzeige ihrer Lage, Entfernung, Herrschaft, vormaligen und jetzigen Beschaffenheit und aller ihrer Natur- und Kunstmerkwürdigkeiten, von einer Gesellschaft kundiger Männer größtentheils aus handschriftlichen Nachrichten gesammelt. 3 Bde. Mit Ländertafeln. gr. 4. 10 thlr. 12 gr.

Fuchs, D. G. F. Ch., Geschichte des Braunsteins, seiner Verhältnisse gegen andere Körper und seiner Anwendung in Künsten. 8. 10 gr.

Galletti, J. J. H., Geschichte von Spanien und Portugall, nebst einer Schilderung des gegenwärtigen Zustandes dieser Reiche und ihrer Bewohner. 3 Bde. gr. 8. 4 thlr.

Gartenschatz, Deutschlands, ein Handbuch für alle Oekonomen und Gartenliebhaber, nach den ältern Reichard'schen Gartenschatz, mit Benutzung der neuesten ausländischen sowohl, als deutschen Erfahrungen, in allen Fächern der ländlichen Oekonomie und des Gartenbaues, bearbeitet von einer Gesellschaft praktischer Oekonomen, und herausgegeben von J. V. Sickler, Verfasser des deutschen Obstgärtners. Mit Kupfern 3 Theile. 8. 3 thlr.

Gärtner, der wohlunterwiesene Küchen-, Blumen- und Baumgärtner. 8. 7 gr.

Gotthard, Dr. J. G., der theoretisch-praktische Wein- und Kellermeister, oder Unterricht in der Kultur und Behandlung des Weins. Ein Handbuch für Weinbauer, Kellermeister, Weinhändler. 2 Bde. 2 thlr. 6 gr.

Götz, Unterricht: Baumschulen, Baum- und Küchengärten anzulegen, nebst einer Anweisung zum Bau der Acacien und des Hopfens. 8. 12 gr.

Fünftes Kapitel.

Einige zusammengesetztere Maschinen.

Der Gegenstand dieses Kapitels ist die kurze Beschreibung jener zusammengesetztern mechanischen Werkzeuge, deren Gebrauch im gemeinen Leben hinreichend bekannt ist. Vor allem gehören hierher die mancherlei Arten von Mühlen, nach ihrer allgemeinen Einrichtung und Wirkung. Nach diesen sollen einige Maschinen zur Erhebung des Wassers betrachtet werden, und den Schluß bildet eine allgemeine Uebersicht der Uhrwerke.

§. 1.

Die Mühlen nach ihrer allgemeinen Einrichtung und Wirkung.

1. Man kann die Mühlwerke auf doppelte Weise eintheilen. Entweder nach Verschiedenheit der Kräfte, welche sie in Bewegung setzen, oder nach Verschiedenheit des Zweckes, welchen man durch sie erreichen will. In jenem Falle ist entweder das Wasser, oder der Wind, oder die mechanische Kraft der Thiere oder Menschen die Bewegkraft der Mühlwerke; und sie sind in dieser Hinsicht entweder Wassermühlen, oder Windmühlen, oder Roßmühlen, Handmühlen und Tretmühlen. Die Wassermühlen werden in unterschlächtige und oberschlächtige abgetheilt, je nachdem ihre Räder durch den Stoß des Wassers auf die Schaufeln oder durch den Fall in die leeren Zellen desselben bewegt werden. Da dieses entweder auf dem Lande oder auf dem Wasser selbst geschehen kann, so werden die un-

terschlächtigen wieder in Land- und in Wassermühlen (Schiffmühlen) abgetheilt. In Ansehung des Zwekkes der Mühlen sind dieselben höchst mannigfaltig, und werden entweder Mehl-, Schrot-, Grütz- und Graupen-, Mühlen, oder Oel-, Pulver-, Lohmühlen und Puchwerke, oder Papier- und Walkmühlen, oder Säge-, Steinschneide- und Häckerlings-Mühlen, oder Bohr- und Polier-Mühlen, oder Hammerwerke, Dreschmühlen u. s. w. genannt.

II. Das unterschlächtige Rad der Wassermühle ist aus zwei parallel laufenden Ringen gebildet, zwischen welchen sich die Schaufeln befinden. Hat das Rad eine Breite von ungefähr 4 Fuß: so heißt es Staberrad; bei größerer Breite aber, um mit erhöhter Kraft zwei Mühlgänge zu treiben, ein Pansterrad. Räder, deren Schaufeln sich auf *ihrem* Umfange befinden, heißen Strauberräder. Das Wasser wirkt auf das unterschlächtige Rad durch seinen Stoß auf die Schaufeln, und je größer dieser sowohl nach der Geschwindigkeit, als nach der Masse des Wassers ist, desto bedeutender wird auch die Bewegkraft. Man findet, daß die Wirkung am größten ist, wenn die Geschwindigkeit der Schaufeln den 3ten Theil von der absoluten Geschwindigkeit des Wassers beträgt. Es sey z. B. die Entfernung des Wasserspiegels über der niedrigsten Schaufel 5 Fuß. Multiplicirt man diese mit 62,5, so ist 312,5 das Quadrat der absoluten Geschwindigkeit, und 17,68 Fuß diese Geschwindigkeit selbst, deren dritter Theil, oder 5,89 Fuß, die zweckmäßigste Geschwindigkeit für die Schaufeln ist. Aus der relativen Geschwindigkeit des Wassers zu 11,79 Fuß, ergibt sich die entsprechende Fallhöhe zu 2,22, oder zu $\frac{4}{9}$ von 5 Fuß, da die Fallhöhen dem Quadrate der Geschwindigkeit entsprechen. Hielte nun die Fläche der Schaufel 4 Quadratfuß: so wäre $\frac{80}{9}$ oder beinahe 9 Kub. Fuß Wasser die bewegende Kraft. Ist nun der Durchmesser des Rades 16 Fuß und seine Peripherie $50\frac{1}{4}$ Fuß, so findet man

dessen Umlaufszeit durch den Quotienten aus 5,89 in $50\frac{1}{4}$ Fuß, zu $8\frac{1}{2}$ Sekunden.

III. Indessen kann bemerkt werden, daß das Wasser auf unterschlächtige Räder mehr durch den Druck, als durch den Stoß wirket, und das Wasser muß mit der Bewegung des Rades gleiche Geschwindigkeit erhalten. Wenn die Geschwindigkeit des Rades nicht ferner zunimmt, so entsteht ein bloßer Druck gegen die Schaufeln des Rades; ungefähr so, wie ein auf der Hand liegender Stein die Hand drückt, welche sich senkrecht nach unten bewegt. Betrachtet man die ganze Höhe des Gefälles als Maaß des Drucks gegen die ruhende Schaufel; so muß jene Höhe davon weggenommen werden, welche der Geschwindigkeit der Schaufeln und des Wassers im Beharrungszustande entspricht; und was übrig bleibt, wird das Maaß des wirksamen Druckes bestimmen. Daher wird die Wirkung durch ein Produkt aus der Druckhöhe in die Geschwindigkeit der Schaufeln bestimmt. Es ist dann am größten, wenn die, der Geschwindigkeit der Schaufeln entsprechende, Höhe des freien Falles $\frac{1}{3}$ der ganzen Höhe des Gefälles wird. Es sey z. B. das Gefälle 5 Fuß, so ist die, der Schaufelgeschwindigkeit zugehörige, Höhe des freien Falles $\frac{5}{3}$ Fuß, und die Geschwindigkeit selbst $=$ 10,21 Fuß, somit beinahe in dem Verhältnisse von 4 : 7, größer als in II. Die Höhe, welche das Maaß des Druckes darstellt, ist $= \frac{10}{3}$ Fuß. Wäre nun wieder eine Schaufelfläche 4 Quadratfuß, so betrüge der Druck $\frac{40}{3} = 13\frac{1}{3}$ Kub. Fuß Wasser, oder nach dem Verhältnisse von 40 : 27 mehr als vorhin. Wäre des Rades Durchmesser 16 Fuß, somit $50\frac{1}{4}$ Fuß dessen Umfang: so betrüge dessen Umlaufszeit beinahe 5 Sekunden, welche den Beobachtungen an wirklichen Mühlwerken mehr entspricht als das in II. erhaltene Resultat.

IV. Bei dem oberschlächtigen Wasserrade fließt das Wasser in die, an seinem Umfange befindlichen Zellen, welche auf folgende Weise am bequemsten angelegt werden: Es stelle CD (Fig 188.) den

Halbmesser des Rades vor, so beschreibe man mit CA dessen innern Umfang; so, daß AD die Breite der beiden Kränze vorstellt. Theilt man nun AD in drei gleiche Theile, wovon AB einer ist, und beschreibt mit CB einen Kreis, so wird dieser der Theilriß genannt. Dieser Theilriß erhält so viele gleiche Theile AE, EF, FH, HI, IK, KU, als wie viele Zellen dieser vierte Theil DCO des Rades erhalten soll. Die Linien KM, IP, HN, HV, FQ u. s. w. welche nach dem Mittelpunkte C gerichtet sind, werden die Kropf- oder Riegelschaufeln genannt. An diese werden nun die Stoßschaufeln so gelegt, daß die Linie LM in ihrer Verlängerung nach N, die Linie OP in ihrer Verlängerung nach Q u. s. f. hinweiset. Das Wasser fließet nun aus dem Gerinne VW bei W in die Zelle OPNR; ist diese, bei noch ruhendem Rade, angefüllt, so ergießt sich das Wasser aus ihr in die zweite RNQ, u. s. w. wodurch das Rad sowohl durch das allmählig größer werdende Moment dieses einfließenden Wassers, als auch durch die Bewegkraft, womit es einströmt, bei D das Uebergewicht bekömmt, und allmählig in Bewegung geräth. Die untern Zellen leeren dann das erhaltene Wasser wiederum aus, indeß die obern neues erhalten, wodurch die Umdrehung des Rades fortwährend erhalten wird. Diese Räder dienen vorzüglich zur Unterhaltung einer gleichförmigen Bewegung, da sie zugleich als Schwungräder wirken. Auch bedürfen sie einer weit geringern Wassermasse, als die unterschlächtigen. Ihre Anwendung ist höchst mannigfaltig, besonders auch da sehr brauchbar, wo eine geringere Menge fließenden Wassers nicht zur Errichtung eines unterschlächtigen Wasserrades anwendbar wäre.

V. Auch hat man halboberschlächtige Wasserräder; wenn z. B. das Wasser von der Rechten gegen die Linke bei S (Fig. 188.) in eine tiefer liegende Zelle einfließt, wobei nun die obern Zellen jedesmal leer bleiben. Bei dem Bergbaue werden oberschlächtige Räder angewendet, welche mit 2 Reihen von Zellen versehen sind, die nach entgegengesetzter

Richtung laufen; so, daß dieselben, je nachdem man das Wasser in diese oder in jene leitet, sich nach entgegengesetzter Richtung herumbewegen können. Man nennt sie Kehrräder. Wenn zwei Stricke nach entgegengesetzter Richtung über ihre Welle gewunden sind, so kann die volle Tonne auf der einen Seite heraufgewunden werden, indeß die leere auf der andern hinabsteigt. Bisweilen bedient man sich auch horizontal stehender Räder mit sogenannten löffelförmigen, schiefstehenden Schaufeln, auf welche das von bedeutender Höhe in einer Rinne herabfallende Wasser in schiefer Richtung anstößt, und nach der Lehre von dem Parallelogramm der Kräfte einen horizontalen Umlauf des Rades bewirken muß. Wenn ein solches Wasserrad zur Mahlmühle verwendet wird, so erspart man bei derselben das Kammrad.

VI. Da die Mahlmühlen so bekannt und wichtig sind, so soll zuerst ihre Einrichtung betrachtet werden. An der Welle MN (Fig. 189.) befindet sich das Wasserrad AB, welches entweder ein unterschlächtiges oder ein oberschlächtiges ist; und an derselbigen Welle steht in dem Innern der Mühle lothrecht das Kammrad CD, welches mit seinen Zähnen in die Triebstöcke des Trillings E eingreift, und denselben schnell herumbewegt. Da nun die Achse F dieses Trillings den obern Mühlstein GH trägt, so geräth auch dieser in sehr schnelle Kreisbewegung über dem untern Mühlsteine VW, welcher unbeweglich ist. Durch diese schnelle Drehung des Läufers GH wird das zwischen beiden Steinen befindliche Getraide zerrieben, welches aus dem Rumpfe, durch eine Oeffnung im obern Mühlsteine, aus dem darüberstehenden hölzernen Trichter zwischen beide Mühlsteine hineinfällt. Durch eine Oeffnung in dem die Steine umgebenden Lauft oder Zarge werden die zermahlenen Fruchtkörner in einen breiten Beutel geleitet, welcher, vermittelst eines Hebels beständig geschüttelt, das Mehl von den Kleyen dergestalt sondert: daß sich jenes in dem Kasten ansammelt, die Kleyen aber aus demselben herabfallen.

Obwohl Einige die Zahl der Umläufe des obern Mühlsteins in einer Minute nicht über 60 dulden mögen, um das Mehl nicht allzusehr zu erhitzen: so widerspricht diesem die Erfahrung, indem es sehr wohl eingerichtete Mühlwerke gibt, bei welchen der Läufer in einer Minute 90 Mal oder wohl gar 170 bis 180 Mal oder noch darüber umherläuft. Es scheint hierbei sowohl der Durchmesser der Mühlsteine als ihre Masse vorzüglich zu berücksichtigen. In Ansehung des Widerstandes, welchen die Fruchtkörner leisten, folgt man gewöhnlich der Regel: daß derselbe $\frac{1}{37}$ vom Gewichte des Mühlsteins und Zugehörs sey, und in der Entfernung von 2 Fuß als Hebelarm an der Achse des Mühlsteins wirke. Allein es scheint hierüber kein allgemeines Gesetz aufgestellt werden zu können, und daher für das praktische Bedürfniß am zweckmäßigsten, neue Kornmühlen nach dem Muster derjenigen zu bauen, mit deren Wirkung man vollkommen zufrieden ist.

VII. Hierher können auch die sogenannten Walzenmühlen gerechnet werden; bei welchen entweder ein Paar Walzen, durch Hülfe der senkrecht stehenden Welle kreisförmig herumbewegt, die unter ihnen befindlichen Körper zerdrücken; oder an welchen sich ein Paar Walzen, in geringer Entfernung von einander, nach entgegengesetzten Richtungen herumdrehen, und die dazwischen liegenden Körper ebenfalls zermalmen, wie z. B. die Zuckermühlen, die Stärkemühlen, Aepfelmühlen u. a. Durch ähnliche Walzen wird auch Papier, Kattun u. dergl. gedruckt, Metalle geglättet u. s. f. Auch kann man als besondere Art der Mahlmühlen die bekannten Kaffeemühlen und die sogenannten Reibemaschinen nennen.

VIII. Bisweilen baut man auch Wasserräder mit zwei Mahlgängen, wobei allerdings die bewegende Kraft sehr bedeutend seyn muß. Hier greift das Stirnrad BD (Fig. 190.), welches lothrecht auf dem Wellbaum AC steht, in zwei große Diehlinge MN und HK so ein: daß diese, mit ihren auf ihrer Fläche lothrecht stehenden Triebstöcken, vermittelst der Zähne

jenes Stirnrades umhergedreht werden. Jeder Drehling hat eine Welle Q und P, auf welcher das Kammrad lothrecht befestigt ist, durch dessen Zähne sodann zwei Trillinge mit den daran befestigten Mühlsteinen bewegt werden. Man nennt diese Einrichtungen Vorgelege, und erkennt sogleich, daß bei ihnen die Reibung einen bedeutenden Widerstand erzeuge; daher wird es nur in wenigen Fällen zweckmäßig seyn, dergleichen Doppelwerke anzulegen.

IX. Der Zweck der Graupenmühlen ist das Rundtreiben der Fruchtkörner. Daher bedürfen sie nur eines Mühlsteins, der mit dem Laufte als Einfassung umschlossen ist. Der Umfang des Mühlsteins ist rauh, und das Inwendige des Lauftes mit einem, dem Reibeisen ähnlichen Eisenbleche gefüttert. Um die hierdurch entstehenden Graupen unter sich und vom Mehle zu sondern, befindet sich an der Achse des Mühlsteins ein Kammrad, welches einen horizontal liegenden Trilling bewegt; welcher durch eine Kurbel und ein sogenanntes Schiebewerk drei Siebe mit verschieden großen Oeffnungen in Bewegung setzt, dessen unterstes nur das Mehl hindurch läßt. Von dem diesen Graupen noch anhängenden Mehle werden sie durch ein Windrad befreit, welches ebenfalls auf ähnliche Weise in Bewegung geräth. Mit der Graupenmühle haben auch die Klinkermühlen zum Abrunden der Marmor= oder anderer Steinarten große Aehnlichkeit.

X. Die sogenannten Stampfmühlen sind entweder mit eigentlichen Stämpfern oder mit Hämmern versehen. Es stelle MN (Fig. 191.) den Stampfer vor, welcher gewöhnlich bei N mit Eisen beschlagen ist; so soll derselbe durch die Kraft der Maschine auf eine gewisse Höhe erhoben werden, um von da mit bedeutender Kraft in die sogenannte Grube bei W auf die Materien herabzufallen, welche nach und nach zerstoßen werden sollen. Zur Erhebung des Stampfers dienet zunächst ein Hebezapfen EF, welchen der Hebedaumen H von unten anfaßt, und so lange erhebt, bis er ihn bei F wiederum aus

läßt. Der Hebedaumen aber wird mit der Welle K herumbewegt, welche ihre eigene Bewegung durch ein Wasserrad erhält, vermittelst eines Kammrades, dessen Zähne in einen Drehling an der Daumenwelle eingreifen. AB und CD sind die Scheidelatten, wodurch der Stampfer MN in senkrechter Lage erhalten wird. Man vertheilt die Daumen dergestalt über der Welle, daß in dem Augenblicke, worin der eine seinen Stampfer fallen läßt, ein anderer den seinigen erhebt, damit jedes Mal gleich viele Stampfer erhoben werden. Wenn z. B. zwölf Stampfer zur Welle gehören, wovon jeder bei ihrem Umlaufe zwei Mal erhoben wird, so erhält die Welle 24 Daumen. Es werden auf ihr nach der ganzen Länge 24 Linien gezogen, deren jede von der andern in einem Bogen von 15° entfernt ist, und jede von ihnen erhält einen Hebedaumen. Sollten vier Stampfer zugleich emporsteigen, so müßte jeder Daumen einen Bogen von 60 Graden beschreiben, ehe er seinen Stampfer ausläßt. Aus dieser Einrichtung ergibt sich, daß die Kraft, welche die Daumen zur Erhebung der Stampfer äußern, veränderlich sey: da das Moment der Last bei der fortgesetzten Drehung der Welle durch die veränderte Entfernung vom Ruhepunkte ebenfalls verändert wird. Weitere Untersuchungen hierüber gehören aber nicht hierher. Zu den Stampfmühlen gehören auch die Hirse- und Getraide-Stampfmühlen, zum Enthülsen dieser Früchte, bei welchen aber der Stampfer nicht auf den Boden der Grube fallen darf, um die Körner nicht zu zermalmen. Auch die Tabak-Stampfmühlen, Flachsmühlen u. a. haben ähnliche Einrichtungen.

XI. Bei den Oelmühlen soll der Lein- und Rübesaamen zu einem Teige zerstampft und aus diesem sodann das Oel ferner ausgepreßt werden, welches in der Oellade durch einen Keil geschieht, welcher mittelst eines Schlägels immer weiter eingetrieben wird. Außer diesem Preßkeile wird noch der Lösekeil nach vollbrachter Auspressung eingeschlagen. Die Maschine setzt den Schlägel in Bewegung, welcher an einer waagrechten Welle befestigt ist, die

mittelst eines Winkelhebels von einem Daumen der Daumenwelle herumbewegt wird. Doch scheint es zweckmäßiger, wenn man den Preßkeil durch einen Stampfer in die Oellade treibt, wobei der Lösekeil auf ähnliche Weise eingeschlagen wird. Bei den holländischen Oelmühlen wird der Saamen auf einem runden Steine durch zwei kurze, aber breite und schwere steinerne Walzen, welche man durch eine stehende Welle im Kreise herumführt, zerquetscht, und hierdurch zum Auspressen vorbereitet.

XII. Die Pulvermühlen kommen im Allgemeinen mit den Oelmühlen in ihrer Einrichtung überein. Die Stampfer sind aber nicht mit Eisen, sondern mit Messing so beschlagen, daß das Holz hervorragt. Auch sind die Gruben mit hartem Holze ausgefüttert, um einer Entzündung vorzubauen. Außerdem hat man auch andere Vorrichtungen, um die Ingredienzien, woraus das Pulver bereitet wird, zu verkleinern, und durch einander zu arbeiten; z. B. zwei Marmorplatten, oder auch, wie in Schweden, ein Paar Walzen, welche, aus Reifen von starkem Messing verfertigt, auf einer kreisförmigen Messingplatte im Kreise herumlaufen.

Bei den Lohmühlen soll die Rinde des Eichen- und Tannenholzes auf bequeme Weise zerstoßen werden, um sie hierdurch zur fernern Bearbeitung vorzubereiten. Die Stämpfer sind nicht nur mit Eisen beschlagen, sondern auch an ihrer Grundfläche mit mehreren Schneiden und scharfen Ecken versehen, damit diese Verkleinerung um so leichter statt findet. Auch kann die Lohe auf Mahlmühlen gemahlen werden. — Bei den sogenannten Puchwerken werden die Stämpfer Puchstempel genannt; welche an ihrem untern Ende mit schweren Eisen versehen sind, um die Erze durch den ungeheuern Stoß, welcher auf sie statt findet, zu verkleinern. Durch ein zur Seite herbeifließendes Wasser wird das zermalmte Erz in ein Gerinne geleitet, worin die metallischen Theilchen, ihres größern Gewichts wegen, zu Boden fallen. Gewöhnlich bringt man hier die Hebezapfen unterhalb

der untern Scheidelatte an, da der Schwerpunkt des Stämpfers sehr weit nach unten fällt.

XIII. Um den Zweck der Papiermühlen zu erreichen, müssen die Lumpen zuerst gehörig zerstampft werden, welches durch den sogenannten Lumpenstampfer, eine Art von Hammerwerk, geschieht. Es stellt FH (Fig. 192.) eine senkrechte Stange vor, an welcher bei E der Hebel EC mit dem Hammerklotze AB drehbar ist. Wird nun der Hebezapfen MN von dem Daumen PQ, welcher sich mit der Welle Q herumbewegt, erhoben, und bei M wieder ausgelassen: so fällt AB in die Grube herab, und bewirkt, da bei B eine Eisenfütterung angebracht ist, ein allmähliges Zerstampfen der darin befindlichen Lumpen, welche vorher schon durch ein von der Mühle in Bewegung gesetztes Schneidewerk zerschnitten sind. Der aus den zerstampften Lumpen entstandene Brei wird in einem großen Troge von einer um ihre Achse beweglichen Walze, an deren Umfang sich scharfe stählerne Schienen der Länge nach befinden, auf einem ebenfalls mit solchen Schienen versehenen Lagerklotze noch feiner zermalmt. Diese Einrichtung nennt man den Holländer, aus welchem sodann die verarbeitete Masse zur fernern Fabrikation weiter gebracht wird. Die erste genau bekannt gewordene Papiermühle befand sich im Jahre 1390 zu Nürnberg. Zwei Räder setzten 18 Stampfer in Bewegung; und die Kunst, Papier zu machen, wurde noch als großes Geheimniß betrachtet.

Bei den deutschen Walkmühlen werden große sehr gewichtige Hämmer in Bewegung gesetzt, um Tuch und Leder durch Wasser und andere mitwirkende Stoffe von Schmutz und Fett zu reinigen, auch dieselben mehr zusammen zu treiben, die feinen Haarfäden mehr zu verwickeln und das Leder geschmeidig zu machen. Die Hämmer werden an dem Stiele gehoben, und sind unten mit Einschnitten versehen, um die zu walkenden Fabrikate bequemer umdrehen zu können.

XIV. Auch gehören die Holzsägemühlen hierher, welche durch Wasserräder bewegt werden. Die lothrecht stehende Säge wird in dem Ziehgatter befestigt, welches in den Einschnitten der Gattersäulen senkrecht auf- und niedergeschoben wird. An dem untern Querholze dieses Gatters ist die Zugstange so angebracht: daß sie um einen eingesteckten Bolzen beweglich bleibt. Dieser ist unten mit der Kurbel einer Welle verbunden, an der sich ein Getriebe und ein Schwungrad befindet. Letzteres dient zur Gleichförmigkeit der Bewegung; jenes aber, damit das an der Welle des Wasserrades angebrachte Stirnrad in dasselbe eingreifen, und die Welle mit der Kurbel umdrehen kann, wodurch die Säge auf und ab bewegt wird. Auch ist noch eine sinnreiche Einrichtung getroffen, wodurch der zu zersägende Holzblock immer wieder vor die Säge geschoben wird. Die genauere Einrichtung dieser Maschinen erkennt man am deutlichsten aus Modellen, oder aus ihrer Betrachtung im Großen.

Bei den Steinschneide-Mühlen wird die Säge, welche nicht mit Zähnen versehen ist, in wagerechter Richtung hin und her geschoben; welches durch einen Rahmen bewirkt wird, welcher vermittelst einer Zugstange durch Umdrehung einer Kurbel bewegt wird; die in der Welle eines Getriebes steckt, welches von dem Kammrade der an dem Wasserrade angebrachten Welle bewegt wird. Der Rahmen der Säge wird mit bedeutenden Gewichten beschwert, damit sie um so kräftiger einschneide. Noch ist die Vorrichtung getroffen, daß der zum leichtern Durchschneiden des Steines nöthige Sand, so wie auch das erforderliche Wasser bequem in den Sägeschnitt gebracht wird. Auch gehören die bekannten Stroh-, Taback-, Kartoffel-, Lumpen-Schneidemaschinen hierher; bei welchen das Räderwerk nicht blos die sogenannten Schneidemesser, sondern auch die zu zerschneidenden Körper selbst in Bewegung setzt. Bei den Vorrichtungen zum Bleischneiden wird eine große starke Scheere durch die Welle des Wasserrades in steter Bewegung erhalten.

In den Eisenschneide-Mühlen werden eiserne Stäbe von Scheiben, deren Umfang eine scharfe Schneide bildet, vermittelst eines Mühlwerks, durchschnitten. Ferner können die sogenannten Schneidemaschinen für Uhrräder, die Tuchscheermaschinen und andere, hierher gerechnet werden.

XV. In den Bohrmühlen wird der Bohrer nicht nur ununterbrochen um seine Achse gedreht, sondern auch der zu bohrende Körper dem Bohrer immer entgegen gerückt. Jener ist an der Achse eines Trillings befestigt, und wird durch ein Kammrad, welches sich wie gewöhnlich auf der Welle des Wasserrades befindet, in schneller Bewegung erhalten. Das Letztere aber wird durch ein eigenes Schiebewerk bewirkt. Die Kanonen werden gewöhnlich in senkrechter Lage gebohrt, indem sie sich gegen den Bohrer herabbewegen. Auch hat man den Bohrer unbeweglich gelassen, und der Kanone eine Bewegung um ihre Achse gegeben. Bisweilen hat auch sowohl der Bohrer als die Kanone eine wagerechte Lage, welche aber, der Metallspäne wegen, nicht so zweckmäßig scheinet. Die Flintenläufe können sowohl lothrecht als wagerecht gebohrt werden.

In den Schleif- und Poliermühlen wird ein großer Schleifstein durch ein Kammrad, welches in den Trilling seiner Achse eingreift, bewegt. Dieses Kammrad wird von dem Sternrade auf der Welle des Wasserrads vermittelst eines Trillings in Bewegung gesetzt. An die Achse des Schleifsteins werden zwei große, hölzerne, mit Einschnitten auf ihrem Rande versehene Scheiben befestigt; worüber eine Schnur gezogen ist, welche um eine andere Stelle geschlungen, an der Achse dieser letztern sowohl andere Schleifsteine zum Nachschleifen, als auch hölzerne, zum Theil mit Leder überzogene, Polierscheiben in Bewegung setzt. Zum Schleifen und Polieren der Spiegel gehört aber eine besondere Vorrichtung.

XVI. Bei den Hammerwerken wird ein, ungefähr 300 Pfund wiegender Hammer, dessen Stiel um einen Bolzen drehbar ist, durch den Daumen einer Welle emporgehoben; worauf er, wenn dieser

Daumen das hervorragende Ende des Stieles auslässt, mit großer Bewegkraft niederfällt.

Bei den sogenannten Dreschmaschinen sind an einer Welle mehrere Dreschflegel so befestigt: daß bei der, durch irgend eine Kraft bewirkten Umdrehung derselben, abwechselnde Schläge auf das Getraide statt finden. Die Dreschtenne muß beweglich seyn, damit nach und nach die ungedroschene Frucht an jene Stellen gebracht werde, worauf die Dreschflegel einwirken. Diese Vorrichtung scheint in der wirklichen Anwendung von geringerm Nutzen.

XVII. Auf die Benutzung des Windes, als einer oft bedeutenden, bewegenden Kraft, hat man die Windmühlen gegründet; bei welchen man dem Luftstrome im Windrad, welches aus 4 langen senkrecht mit einer Welle verbundenen Flügeln gebildet ist, entgegen stellet. Jeder einzelne Flügel besteht aus einem langen, durch die Achse der Welle gesteckten Baume, der sogenannten Windruthe, worin sich in der Länge von mehreren Fußen die eingesteckten Sprossen befinden; welche zu beiden Seiten in Leisten eingefaßt, einen Rahmen bilden, dessen Zwischenräume gewöhnlich mit dünnen Brettern, oder mit Segeltuch bedeckt werden. Die Fläche des Windflügels hat eine, gegen die Achse der Welle schiefgeneigte Lage, damit der Wind, welcher nach der Richtung dieser Welle gegen die Flügel anstößt, dieselben nach schiefer Richtung trifft. Aus dieser schiefen Richtung entsteht, nach der Lehre von dem Parallelogramme der Kräfte, eine andere Kraft, welche die Windflügel, und mit ihnen die Welle in Bewegung versetzt. Im Allgemeinen erkennt man, daß die Größe dieser Kraft sowohl von der Größe der Fläche eines Windflügels, als auch von der Stärke des Luftstroms, und endlich von der schiefen Richtung abhängig sey, nach welcher der Wind gegen den Flügel anstößt. Die Entwicklung einer genauern Theorie über die Bewegung der Windmühlen ist großen Schwierigkeiten unterworfen. Um der Maschine, in Bezug auf die Richtung des Windes, die gehörige Stellung zu geben, muß ent-

weder das ganze Haus, worin sich die Mühle befindet, oder statt dessen der obere Theil, der die Flügelwelle anhält, (die sogenannte Haube) bequem drehbar seyn. Jene Einrichtung nennt man eine Bockmühle; diese aber eine holländische Windmühle. Die Bewegung, welche die Welle dieses Mühlwerkes erhält, wird nun auf bekannte Weise, durch ein Kammrad oder durch ein Stirnrad, den übrigen Theilen der Maschine mitgetheilt. Auch hat man horizontale Windmühlen, bei welchen der Wind die Flügel in wagerechter Lage umhertreibt. Die Flügel brauchen hier nicht nach der Richtung des Windes gestellt zu werden, und da die bewegende Kraft mit der Bewegung des Mühlsteins gleichlaufend wird, so wird die Maschine selbst bei geringerem Luftstrome bewegt. Auch ist ihr Bau fester. Da die horizontal stehenden Windflügel nur auf der *einen* Seite vom Winde afficirt werden dürfen, um *eine* Drehung zu bewirken, so müssen sie sich auf der andern Seite niederlegen, um dem Windstoße auszuweichen, welches sich z. B. durch Klappen hervorbringen läßt. Wegen der schwierigern Ausführung dieser Windflügel sind die Windmühlen mit horizontalen Flügeln immer noch seltener.

XVII. Noch gehören die bekannten Roßmühlen hierher. An einer senkrecht stehenden Welle, welche ein Stirn- oder Kammrad trägt, ist ein langer Hebel verbunden, woran ein Pferd sich im Kreise herumbewegt. Wenn an der Hauptwelle ein Stirnrad verbunden ist, so greift dieses, wie bei der Mahlmühle, unmittelbar in den Trilling, an dessen Achse der bewegliche Mühlstein (Läufer) befestigt ist. Befindet sich aber ein Kammrad an der Welle, so muß dieses zuerst in einen horizontal liegenden Drehling eingreifen, an dessen Achse ein Kronrad befestigt ist; welches, wie zuvor, den Trilling mit dem Läufer in Bewegung setzt. Am vortheilhaftesten werden da Roßmühlen angelegt, wo der Raum für einen Kreis, dessen Halbmesser über 18 Fuß beträgt, hinreichend ist, was allerdings ein größeres Gebäude nöthig

macht. Daher könnte man auch die Maschine unten anbringen, und die Pferde oberhalb derselben umhergehen lassen. Erfahrungen haben gelehrt, daß ein Pferd im wagrechten Zuge während 2 — 3 Stunden eine Kraft von ungefähr 175 Pfunden mit der Geschwindigkeit von 200 — 240 in einer Minute ausüben kann. Sie ermüden aber sehr bald, wenn ihnen nur ein kleiner Kreis vorgeschrieben ist.

XVIII. Bei den Tretmühlen ist ein schiefliegendes Tretrad der wichtigste Bestandtheil. Es besteht aus einer großen, an einem Wellbaume befestigten Scheibe, welche mit dem Horizonte einen Winkel von höchstens 15° bildet, und an deren Rande sich rings umher Latten befinden, welche nach der Richtung der Radien angebracht sind. Wenn nun Thiere oder auch Menschen auf dieser Scheibe hinansteigen, so weicht sie (gleich dem bekannten Tretrade bei Wasserkrahnen u. dergl.) unter ihren Füßen zurück, und setzt hierdurch die Welle und mit dieser den übrigen Theil der Maschine in Bewegung. Da aber die Wirkung nicht dem vierten Theile vom Gewichte des Thieres gleich ist, so ist die Umdrehung langsam und beträgt nicht einmal 2 Fuß in einer Sekunde.

In manchen Fällen sind auch die Handmühlen von großem Werthe. Sie werden durch Kurbeln in Bewegung gesetzt, an deren Welle sich ein Kammrad befindet. Um die Ungleichförmigkeit der Bewegung, welche aus einer Kurbel entsteht, möglichst zu verringern, werden sowohl an der Welle, als auch an der Achse des Mühlsteins Schwungräder angebracht. Diese Mühlen dienen vorzüglich in solchen Fällen, wo weder Wasser noch Luft als bewegende Kraft solcher Maschinen zu benutzen ist.

Außer den im Bisherigen angeführten Mühlwerken gibt es noch höchst mannigfaltige andere Einrichtungen, welche durch den Scharfsinn der Menschen, gestützt auf die Hülfsmittel der Mechanik, entstanden sind. Zum Beispiele dienen die Spinnmühlen, die Waschmühlen, die Webemühlen, die Glättmühlen, die Buttermühlen, die Amalgamirmühlen und mehrere an-

dere, deren Einrichtung und Beschreibung ein Gegenstand der allgemeinen oder besondern Technologie ist.

§. 2.

Einige Maschinen zur Erhebung des Wassers.

I. Die gewöhnlichsten Wasserhebungsmaschinen sind die Pumpen, welche entweder als Saugwerke, oder als Druckwerke wirken. Ihre allgemeine Einrichtung ist bereits oben erklärt worden. Die Kolbenstangen werden entweder durch Schwengel, d. h. durch Winkelhebel bewegt; welche oben an der Pumpe so angebracht sind, daß die Stange am kürzern Arme hängt, die Kraft aber an dem längern einwirkt. Da aber die Pumpenstange auf diese Weise nicht lothrecht auf und niedersteigt, so muß dieselbe da, wo sie den Stempel faßt, leicht und frei beweglich seyn. Eine andere Art, die Pumpenstangen zu bewegen, gründet sich auf den Gebrauch der Kurbeln, welche hier Krummzapfen heißen. Die Stange wird nämlich an das Ende des Krummzapfens so befestigt, daß sie bei ihrer Umdrehung aufwärts steigen und abwärts sinken muß. Bisweilen befindet sich an jedem Ende der Welle, welche durch irgend eine mechanische Kraft bewegt wird, eine solche Kurbel, wodurch zwei Pumpenstangen zugleich können bewegt werden. Auch sieht man, daß an einer Stange von Eisen, wenn sie gehörig nach außen und innen gebogen wird, noch mehr als zwei Kurbeln können angebracht werden. In den Bergwerken wird oft eine bedeutende Anzahl solcher Pumpenwerke durch ein oberflächliches Wasserrad (das Kunstrad) in Bewegung erhalten, um das sogenannte Grubenwasser, welches dem Bergbau so hinderlich ist, hinwegzuschaffen. In andern Fällen, z. B. an Bächen und Flüssen dient ein unterschlächtiges Wasserrad zur Bewegung mehrerer Druckwerke. Auch hat man noch eine dritte Methode zur Bewegung der Kolbenstangen, durch Hülfe einer elliptischen Scheibe, oder noch besser durch An-

wen-

wendung der Epicycloide. Um die bewegende Kraft z. B. des Wassers an eine entferntere Stelle zu leiten, und sich ihrer daselbst zur Bewegung einer Maschine zu bedienen, gebraucht man das sogenannte Feldgestänge. Es besteht aus einer langen Reihe von senkrecht in den Boden geschlagenen Pflöcken, auf welchen sich hölzerne Winkelhebel vermittelst der sie gegenseitig verbindenden Zugstangen so hin und her bewegen, daß die Bewegung des ersten auch eine Drehung des letzten hervorbringt, welche sodann z. B. zum Gange einiger Pumpenwerke verwendet werden kann. Hierdurch wird die bewegende Kraft über Erhöhungen und Vertiefungen, und nach allen Richtungen hin oft mehrere 1000 Fuß weit fortgeleitet.

II. Aeußerst interessant ist die Anwendung der Wasserdämpfe zur Bewegung von vielerlei mechanischen Werzeugen. Die Dämpfe besitzen nämlich, wie aus der Lehre der luftförmigen Stoffe bekannt ist, wenn sie bedeutend erhitzt werden, eine sehr ansehnliche Expansivkraft; so, daß sie im Stande sind, sehr bedeutende Widerstände zu überwinden. Man hat hierauf die sogenannten Dampfmaschinen oder Feuermaschinen gegründet, deren Erfinder gegen die Hälfte des 17ten Jahrhunderts, der Engländer Savary war. Seine Landsleute: Newcomen, Hornblower, besonders aber Watt und Boulton haben sie späterhin dergestalt vervollkommnet, daß diese Verbesserungen selbst neuen Erfindungen ähnlich sind. Diese Maschinen äußern oft eine Kraft, welche der Stärke von 80 — 90 Pferden gleich kömmt. Besonders sind sie in England mehrfach angelegt, wo sie das Grubenwasser aus den Steinkohlengruben wegschaffen, die Steinkohlen selbst zu Tage fördern, höchst mancherlei Mühlwerke bewegen, in Manufaktur- und Fabrik-Arbeiten höchst wichtige Dienste leisten, und in den letztern Jahren auch zur Bewegung der Schiffe (Dampfboote) benutzt worden sind. Da sich ihre Einrichtung ohne mehrfache Zeichnungen nicht genau übersehen läßt, so muß man diese aus besondern Schriften kennen lernen.

III. Auch hat man den oben (S. 109. VII) beschriebenen Heronsbrunnen, als Wasserhebungsmaschine, in Bergwerken mit Nutzen angewendet. Man nennt sie Luftmaschine, Luftsäulen-Maschine, Syphons-Maschine; und in Schemnitz ist eine derselben mit sehr gutem Erfolge erbaut, woran noch die besondere Vorrichtung angebracht wurde, daß die Maschine die sogenannte Steuerung selbst besorgt, welches eine Erfindung des Kunstmeisters Höll daselbst ist. Das Wasser fällt von sehr bedeutender Höhe herab in ein luftdicht verschlossenes Gefäß, worin die Luft stark comprimirt wird. Dieser gewaltsame Luftdruck wird nun durch eine andere Röhre einem starken Kessel mitgetheilt, in welchen das Grubenwasser ebenfalls durch eine besondere Röhre geleitet wird. Indem nun die zusammengepreßte Luft mit großer Kraft auf dieses Wasser wirkt, wird dasselbe durch eine Steigröhre hoch emporgehoben.

IV. Eine sehr interessante Erfindung der Brüder Montgolfier ist der Stoßheber oder hydraulische Widder. Im fließenden Wasser liegt eine sehr lange vorn offene Röhre, welche an ihrem hintern Ende mit zwei Ventilen versehen ist. Das erste gestattet dem hindurchfließenden Wasser den Ausweg in das äußere Wasser; durch das zweite tritt es in ein Gefäß über, welches, gleich dem Luftkessel bei Wasserspritzen, das Wasser in stetiger Bewegung erhält, und aus welchem sich eine Steigröhre erhebt. Wenn nun das erste Ventil geschlossen ist, so wird das zweite durch das fließende Wasser geöffnet, welches so lange in das Gefäß und in die Steigröhre aufsteigt, bis es durch den Gegendruck der eingesperrten Luft und des Wassers alle Bewegkraft verloren hat. Nunmehr schließt sich das zweite Ventil, und das erste wird entweder durch den Druck des äußern Wassers und sein Gewicht, oder durch eine Feder geöffnet. Indem nun das Wasser aus der Röhre hinausdringt, so stößt es auch sogleich, weil es nicht ausweichen kann, das erste Ventil zu und das zweite wiederum auf. Durch dieses abwechselnde Spiel der

Klappen tritt das Wasser in der Steigröhre zu einer Höhe, welche der Länge der Leitungsröhre und der Geschwindigkeit des in ihr fließenden Wassers proportional ist. Dieses Wasser wirkt nämlich durch die ihm zukommende bewegende Kraft; und wenn die Leitungsröhre einige hundert Fuß lang ist, so muß das Wasser in der Steigröhre schon bedeutend emporsteigen, bis es durch seinen Gegendruck dem in der Röhre fließenden Wasser seine Bewegkraft rauben kann.

V. Um das Wasser durch mechanische Kraft auf eine mäßige Höhe zu heben, bedient man sich der Wasserschraube oder Wasserschnecke, welche eine Erfindung des Archimedes seyn soll. Sie besteht aus einer Walze, um welche eine aus Brettern zusammengesetzte Ebene schraubenförmig gewunden ist, worüber ein hohler Cylinder dergestalt angebracht ist, daß sich jene Schraubenwalze leicht und frei in ihm um drehen kann. Das Ganze wird unter einem Winkel, welcher nicht mehr als 60 Grade betragen darf, mit seinem untern Ende in das zu erhebende Wasser gesetzt. Wird nun die Schraubenwalze entweder vermittelst einer Kurbel, woran sich eine oder mehrere Zugstangen befinden können, oder vermittelst eines Rades und Getriebes umhergedreht: so steigt das Wasser von einem Schraubengang zum andern allmählig bis zur obern Mündung, wo es ausfließen kann, empor, und dieses Wasser wird auf den Schraubengängen gleichsam aufwärts geschoben. Die Umläufe der schraubenförmigen Ebene dürfen mit einer auf die Achse der Schraubenwalze lothrechten Ebene keinen größern Winkel als etwa von 10 Graden bilden. Da diese Maschine eine bedeutende Menge Wasser erhebt und überall leicht aufgestellt werden kann, so ist auch ihr Gebrauch z. B. beim Wasserbau, u. dergl. sehr anwendbar. Der Vorschlag "eine bleierne Röhre in Schraubengängen um eine Welle zu winden, um ein solches Werkzeug zu bilden" würde bequem seyn, wenn es nicht schwer hielte, diesen Röhren solche Windungen zu geben, ohne daß ihr Zusammenhang aufgelößt wird.

VI. Eine interessante Erfindung ist auch die Spiralpumpe von Andreas Wirtz, Zinngießer zu Zürch. In einer hohlen, ringsum verschlossenen Trommel macht eine spiralförmig gewundene an die Böden genau anschließende, zinnerne Platte zehn Umläufe um sich selbst, und ihr äußeres Ende steht mit einer Oeffnung in der krummen Fläche dieses Cylinders in Verbindung, wo sich auch ein Schöpfgefäß befindet. Aus der Mitte des einen Bodens tritt eine Ausgußröhre in Gestalt der Nabe eines Rades hervor, wodurch Luft und Wasser aus den Spiralgängen in eine unbewegliche Steigröhre getrieben wird. Setzt man nun diese Maschine fast zur Hälfte in Wasser, und dreht sie so um, daß die Spiralgänge sich vom Mittelpunkte gegen den Umfang bewegen, so schöpft dieselbe abwechselnd Luft und Wasser. Beide Flüssigkeiten bewegen sich nach dem Mittelpunkte, *treten* durch die Nabe in die Steigröhre und sodann aus der Ausgußröhre der letztern hervor. Der Erfinder hat das Wasser auf eine Höhe von 18 Fuß hierdurch erhoben.

Hierher gehört auch die Centrifugal-Wassermaschine des Pajot des-Charmes und die hydraulische Maschine von Adrien de Cordemoy, so wie es überhaupt noch mehrere von ähnlicher Einrichtung gibt.

VII. Bei den Schöpfrädern befinden sich auf dem Umfange eines Rades mehrere eingesetzte Kasten oder besondere Fächer, welche bei ihrem Durchgange durch das Wasser dasselbe auffangen, und oben wiederum in einen besondern Behälter ausgießen. Bisweilen erstrecken sich auch spiralförmige Röhren vom Umfange des Rades bis in die hohle Welle, woran es befestigt ist. Beim Umdrehen dieser zum Theil in das Wasser getauchten krummen Röhren schöpfen sie dasselbe auf, und leiten es durch die hohle Welle, an dessen Ende es ausfließt. Diese Räder werden entweder durch die bewegende Kraft eines Stromes, aus dem sie das Wasser schöpfen, vermittelst Schau-

feln, oder auch nach Art eines Tretrades u. dergl. in Bewegung gesetzt.

Die sogenannten Kastenkünste erheben das Wasser durch Kasten oder Eimer, welche rings um zwei sechseckig gestaltete Wellen gehörig angebracht sind. Sie werden gewöhnlich vermittelst Ketten bewegt. Sollen sie anwendbar seyn, so darf beim Ausguß des Wassers kein bedeutendes Verschütten statt finden; auch dürfen sie sich bei Umdrehung der Wellen nicht über denselben verschieben.

VII. Das Püschelwerk oder Paternosterwerk besteht aus einer oben und unten offenen, mit ihrem untern Ende in das Wasser reichenden Röhre, innerhalb welcher an einer hindurchgehenden Kette mehrere, in gleicher Entfernung stehende, in dieselbe wasserdicht einpassende, hölzerne, oder auch lederne mit Haaren ausgestopfte kugelartige Körper, welche man Püschel nennt, befinden. Die Püschelkette, welche an ihren Enden verbunden ist, wird oben und unten über einen wagerecht liegenden Trilling geleitet. Wird dieser nun durch eine oder zwei Kurbeln oberhalb des Wassers in Bewegung gesetzt, so erheben sich die in der Röhre befindlichen Püschel und bringen so das Wasser von unten nach oben, wo es denn in einem größern Gefäße gesammelt, und anderswohin geleitet werden kann. Anstatt der kugelartigen Püschel bedient man sich besser dicker Lederscheiben, welche auf beiden Seiten mit etwas kleineren Holz= oder Metallscheiben bedeckt sind. Obwohl solche Püschelwerke das Wasser bedeutend hoch erheben können, so bedürfen sie doch, wenn sie in steter Bewegung erhalten werden, sehr oft einer Ausbesserung.

In dieselbige Klasse der Wasserhebungs=Maschinen gehört auch Löscher's Schwamm=Maschine, welche nichts anders, als ein von Schwämmen verfertigtes Püschelwerk ist. Obwohl diese Maschine mit geringer Kraft viel Wasser erheben kann, so scheint sie dennoch nicht von sehr starker Construktion. Auch wird ihr Gebrauch im Winter unmöglich.

IX. Auch das Schaufelwerk gehört hierher. Eine gewöhnlich viereckige Röhre liegt schief gegen den Horizont. Die Kunstkette ist mit viereckigen Brettern versehen, durch welche das Wasser in der Röhre hinaufgezogen wird. Die Kette geht mit ihren Schaufeln oben und unten über eine, besonders dazu eingerichtete Welle, wovon jene durch einen Trilling, in welchen ein Kammrad eingreift, herum bewegt wird. Auch kann die Welle durch zwei Kurbeln und mehre Zugstangen herumgedreht werden.

Eine sinnreiche Erfindung des Italieners Vera ist die Seilmaschine. Ein mit beiden Enden verbundenes Seil werde über zwei Rollen, deren untere sich im Wasser befindet, schnell herumbewegt: so nimmt der aufsteigende Theil eine bedeutende Menge dieses Wassers in die Höhe und spritzt es wiederum aus, wenn das Seil sich über die obere Rolle windet; woselbst das Wasser in einem Behälter gesammelt, und anderswohin geleitet werden kann. Bei dem nützlichen Gebrauche dieser Maschine kömmt es darauf an, daß das Seil in schneller Bewegung um die beiden Rollen gebracht werden kann; wozu gewöhnlich ein größeres Rad dienet, über dessen Umfang das Seil ebenfalls geführt wird, und welches man durch Kurbeln in Bewegung setzt. Die Seile sind gewöhnlich von Pferdehaaren.

X. Die Einrichtung und Wirkung der Wasserspritzen ist bereits oben erklärt worden. Zur vollkommenen Einrichtung dieser so nützlichen Werkzeuge müssen die Stiefel möglichst genau cylindrisch und im Innern wohl polirt seyn. Auch die Kolben sollen diese Gestalt haben, und wasserdicht anschließen. Die Ventile dürfen nicht zu unbedeutend am Gewichte seyn, damit sie sich um so schneller gegen ihre Oeffnungen bewegen. Die Kürze der Kolbenstangen macht eine Einrichtung nothwendig, wodurch der schiefe Druck möglichst vermindert wird. Die Stiefel dürfen nicht zu klein im Durchmesser seyn; eben so wenig die sogenannten Kropfröhren, welche das Wasser aus den Stiefeln leiten; und die Steigröhren und Schlangen.

Auch soll das Ausgußrohr erst nahe bei der Mündung allmählig enger werden, und es ist rathsam, Ausgußröhren von verschiedener Oeffnung zu haben. Spritzen ohne Windkessel, woraus das Wasser nicht ununterbrochen hervorspringt, heißen Stoßspritzen oder Absatzspritzen. Sinnreich ist die sogenannte Trichterspritze von Löscher, ohne Röhren, Kolben und Ventile. Sie besteht aus einem Wasserkasten, worin ein hohler Trichter mit seiner weiten Oeffnung schnell im Wasser niedergestoßen wird. Sehr gute Dienste leisten beim Gebrauche der Spritzen die sogenannten Wasserzubringer; welche theils Saugwerke, theils Druckwerke sind, und dazu dienen, die Spritzen mit dem nöthigen Wasservorrathe zu versorgen.

XI. Auch gehört noch Langsdorf's Saugschwung-Maschine hierher, welche entweder durch ein Wasserrad, oder durch die Kraft des Windes, oder durch ein Tretrad, oder auf andere Weise in Bewegung gesetzt werden kann. Da aber ihre Einrichtung ohne nähere Zeichnung nicht leicht verständlich ist, so kann sie hier nicht weiter erörtert werden.

XII. Außer den seither beschriebenen Vorrichtungen, zur Erhebung und Bewegung des Wassers, gibt es auch noch ähnliche Werkzeuge zur Bewegung der Luft. Man nennt sie Luftwechsel-Maschinen. Eine besondere Gattung derselben bilden die Wettermaschinen, wodurch die sogenannten bösen Wetter, d. h. die im Innern des Bergbaues befindlichen schädlichen Gase und Dämpfe weggetrieben und durch reine Luft wieder ersetzt werden können. Sie werden in Wetterblas-Maschinen und in Wetter-Saugmaschinen abgetheilt. Jene sollen reine Luft zu, diese die verdorbene Luft abführen. Der Zweck der sogenannten Gebläse ist, einen verdichteten Luftstrom dem Feuer zuzuleiten, um dessen Gluth hierdurch zu erhöhen. Der gemeine Blasebalg ist bekannt genug, und bereits oben nach seiner Einrichtung und Wirkung beschrieben worden. Auf Hüttenwerken werden die sogenannten Lederbälge meist

durch Wasserräder in Bewegung gesetzt. Gewöhnlich befinden sich zwei neben einander, welche abwechselnd Luft schöpfen und dem Feuer den Luftstrom zuführen. Eine Erfindung der Engländer ist das hydrostatische Gebläse, wodurch ein ununterbrochener Luftstrom bewirkt wird. Da aber hierzu eiserne Cylinder von 5 — 8 Fuß im Durchmesser und von gleicher Höhe erforderlich sind, so hat sich Baader in München durch die Erfindung des sogenannten Cylindergebläses verdient gemacht. In einem hölzernen, zum Theil mit Wasser gefüllten Cylinder kann ein kleinerer Blechcylinder auf- und nieder bewegt werden. Hierdurch wird die durch eine Röhre einströmende Luft über der Wasserfläche verdichtet, und durch eine andere Röhre nach dem Feuer geleitet. Beide Röhren ragen über dem Wasser hervor und sind mit Klappen versehen, welche sich nach entgegengesetzten Richtungen öffnen. Der bewegliche Cylinder wirkt als Kolben, und das Wasser vertritt die Stelle der Liederung.

§. 3.

Einiges zur Kenntniß der Uhrwerke.

I. Unter Uhren überhaupt versteht man jene Werkzeuge, deren Zweck eine genaue Eintheilung der Zeit ist. Eine der ältesten Erfindungen ist die Wasseruhr, von einem Mathematiker zu Alexandrien, Ctesibius, etwa 240 Jahre vor Christi Geburt. Sie war die Veranlassung zur Einrichtung der Sanduhren oder Stundengläser, welche in der Mitte des 17. Jahrhunderts bedeutend verbessert wurden. Im Jahr 1690 richtete Charles Vailly eine verbesserte Wasseruhr ein, wovon Bion in seiner mathematischen Werkschule Nachricht gibt. Die Geschichte dieser Uhren findet man in Beckmanns Beiträgen zur Geschichte der Erfindungen 1782. III. St. In welcher Periode die eigentlichen Uhrwerke er-

funden wurden, ist schwer zu bestimmen. Da erst im 13. Jahrhunderte die Uhren mit Rädern und Gewichten aufgeführt werden, so fällt ihre Erfindung wahrscheinlich in das 11. und 12. Jahrhundert. Ob diese Ehre einem Europäer oder einem Saracenen gebühre, ist noch unentschieden. Der Engländer Derham schreibt sie den Deutschen zu; bemerkt aber, daß er weder die Zeit der Erfindung, noch den Erfinder angeben könne. Die älteste Taschenuhr wurde in England bei Bruce, einem Schlosse in Fifeshire, von Arbeitern gefunden. Sie besitzt ein silbernes Gehäuse; auf dem Zifferblatte steht: Robertus B. rex Scotorum, und über demselben befindet sich ein convexes, durchsichtiges Horn, anstatt der jetzt gebräuchlichen Uhrgläser. Die älteste, von einem Deutschen verfertigte Uhr ist eine astronomische, deren Durchmesser $9\frac{3}{4}$ Zoll, die Höhe aber 5 Zoll beträgt. Sie führt die Inschrift:

Da man zählt 1525 Jahr
Da macht mich Jakob Zech zu Prag. Ist wahr.

Die meisten ältern Taschenuhren enthielten statt der Kette eine Darmsaite, eine Unruhe ohne Spiralfeder und fünfstöckige Getriebe. Im Jahre 1674 gab Hautefeille von Orleans diesen Uhren eine gleichere Bewegung durch eine kleine gerade Feder, welche mit dem einen Ende an der einen Uhrplatte, mit dem andern an dem äußersten Theil der Unruhe befestigt war; auch wählte er sechsstöckige Triebe. Huyghens hat späterhin die Spiralfeder erfunden, und den achtstöckigen Trieb am Minutenrade, wodurch der Gang noch gleichförmiger wurde. Auch ist er der Erfinder der Pendeluhren, die er zu Ende des Jahres 1656 zu Stande brachte, wozu Galilei die nächste Veranlassung war. Die Beschreibung davon gab er in der Schrift: Huyghenii horologium Haag, 1658. und weitläuftiger in: Huyghenii horologium oscillatorium. Paris, 1673. ff. Seit dieser Zeit haben die Uhren durch den Gebrauch des Pendels einen weit höhern Grad von Vollkommenheit erreicht.

II. Die allgemeine Bewegkraft der Uhrwerke ist entweder ein Gewicht oder eine Feder, und im letzten Falle sind die Uhren entweder Taschenuhren oder Tafeluhren. Hier soll die Einrichtung dieser beiden letztern kürzlich erklärt werden.

III. In dem Federnhause (Trommel) der Taschenuhr ist die kleine Stahlfeder in mehrfachen Spiralwindungen, um sich selbst gewunden so eingeschlossen: daß ihr eines Ende an dessen innerer Wand, das andere aber an seiner Welle befestigt ist. Um das Federnhaus A (Fig. 193.) ist eine feine Kette sechs bis sieben Mal gewunden, und mit ihrem einen Ende an dessen äußerm Umfange befestigt. Ihr anderes Ende ist an dem Umfange eines mit spiralförmigen Gängen versehenen abgestutzten Kegels B fest, welcher die Schnecke heißt. Die Grundfläche dieser Schnecke ist wie ein Sperrrad eingezahnt. Darunter befindet sich das Schneckenrad, auf welchem ein Sperrhaken (der Sperrkegel) in dieses Rad eingreift, und vermittelst dessen die Schnecke das Schneckenrad umtreibt. Der eine Zapfen der Schnecke ragt zum Uhrgehäuse heraus, und durch ihn wird vermittelst des Uhrschlüssels die Schnecke herumgedreht, ohne daß das Schneckenrad zugleich mit gedreht wird, indem der Sperrhaken über die Zahnschnitte des Sperrrades hingeleitet. Hierdurch wird die Kette auf die Spiralwindungen gewunden, und durch Umdrehung der Trommel die in derselben befindliche Feder gespannt, indem sie mehrmal zusammengewunden wird. Da nun die Feder ein Streben hat, sich wieder aufzuwinden, so treibt sie die Trommel nach entgegengesetzter Richtung umher, und setzt vermittelst der Kette, welche sich wieder auf die Trommel umwickelt, und von der Schnecke ablöset, sowohl diese, als das damit verbundene Schneckenrad in Bewegung. Dieses Schneckenrad greift, mit 48 Zähnen in das zwölfstöckige Getriebe des mit 54 Zähnen versehenen Minutenrades D, welches auch das große Bodenrad heißt; und dieses greift wiederum in das sechsstöckige Getriebe des Mittelrades E von 48 Zähnen, wel-

ches man das kleine Bodenrad nennt. Durch dieses letztere wird sodann das sechsstöckige Getriebe des Kronrades F von 48 Zähnen bewegt, welches in das horizontal liegende sechsstöckige Getriebe des Steigrades G von 15 Zähnen eingreift. Die Zähne dieses Steigrades greifen sodann wechselsweise in die zwei Lappen H, welche sich an der Spindel der Unruhe befinden, wodurch die Unruhe I hin und her geschwungen wird. Die Bewegkraft der Uhr findet also hier einen Widerstand, weil sie bei jedem Schlage die Bewegung der Unruhe hemmen und in die entgegengesetzte verwandeln muß. Hierdurch erhält die Uhr einen gleichförmigen Gang, indem die Spiralfeder d. h. eine feine spiralförmig gewundene Feder, welche einerseits noch am Mittelpunkt der Unruhe, anderseits aber an einem Klöbchen N (Fig. 194.) befestigt ist, den Schlag derselben immer gleichförmig erhält. Neben dieser Spiralfeder befindet sich ein gezahnter Kreisbogen KL, der Rücker genannt, welcher vermittelst eines mit einem Einschnitte O versehenen Plättchens die Feder ergreift. Ein kleines Rädchen, welches unter dem kleinen, auf dem Boden der Uhr befindlichen Zifferblatte liegt, dienet zur Verschiebung des Rückers, um die Spiralfeder hierdurch entweder zu verlängern oder zu verkürzen, wodurch die Uhr einen langsamern oder geschwindern Gang erhält. Noch ist unter der Trommel ein Getriebe mit einer Schraube ohne Ende angebracht, um die Feder in dem Federnhause stärker zu spannen, oder etwas nachzulassen.

IV. Ferner gehört zur Vollständigkeit der Sackuhren das sogenannte Vorlegewerk, d. h. eine Verbindung von Rädern zur Bewegung der Zeiger. Die Welle des Minutenrades (Fig. 193.) D tritt über das Zifferblatt hervor und trägt hier den Minutenzeiger P. Auf eben diese Welle ist ein Rohr fest anschließend gesteckt, welches ein Getriebe L von 12 Stöcken trägt. Dieses greift in ein Stirnrad (Wechselrad) M von 36 Zähnen, an dessen Welle sich ein 10stöckiges Getriebe N befindet, welches wiederum in

das Stundenrad O von 40 Zähnen eingreift. Dieses sitzt an einem Rohre, welches über das Rohr des Minutenrads sanft geschoben ist, und trägt an dieser dickern Welle den Stundenzeiger S. Auf diese Weise kann der Minutenzeiger nach Belieben umgedreht werden, ohne das eigentliche Gehewerk zu stören. Ferner kömmt, wenn das Minutenrad in jeder Stunde eine Umdrehung macht, das Wechselrad alle 3 Stunden einmal herum, und das Stundenrad mit dem Stundenzeiger alle 12 Stunden einmal. Das Minutenrad macht aber in jeder Stunde einen Umlauf, wenn die Schnecke alle 4 Stunden sich ein Mal umherdreht. Denn nun dreht sich das 48zähnige Schneckenrad in eben dieser Zeit herum. Da aber dieses in das 12stöckige Getriebe des Minutenrades greift, so kömmt dieses in diesen 4 Stunden $\frac{48}{12}$, d. h. vier Mal, folglich in einer Stunde ein Mal *herum*. Da ferner das Mittelrad an einem sechsstöckigen Getriebe von dem 54zähnigen Minutenrade umgedreht wird, so kömmt jenes in einer Stunde $\frac{54}{6}$ d. h. neun Mal herum; das Kronrad aber neun Mal $\frac{48}{6}$ d. h. 9 Mal 8 Mal, und das Steigrad 9 Mal 8 Mal $\frac{48}{6}$ Mal, d. h. 9 Mal 8 Mal 8 Mal, oder 576 Mal herum. Nun macht die Unruhe während eines Umlaufs des Steigrades zwei Mal funfzehn oder 30 Schwingungen; daher macht sie in einer Stunde 17280 Schwingungen, oder 48 in 10 Sekunden.

V. Bei den Pendeluhren muß man die Wirkung des Gewichtes, die Anbringung des Pendels und die Einrichtung der Zeiger beachten.

Das Gewicht G (Fig. 195.) hängt an einem um eine Walze gewundenen Seile, woran das Sperrrad A befestigt ist. Sie selbst ist auf eine cylindrische Achse C gesteckt, die nicht ganz hindurch geht, und woran sich ein Rad R, das Walzenrad, befindet, an welchem der Sperrhaken S befestigt ist, der in die Zähne des Sperrrades eingreift. Vermittelst einer an der Achse C angebrachten Kurbel wird die Walze mit dem Sperrrade umgedreht, das Walzenrad bleibt unbeweglich, so daß sich das Seil mit dem Ge-

wichte aufwickelt. Das herabhängende Gewicht G zieht die Walze nach entgegengesetzter Richtung; wobei der Sperrhaken das Sperrrad unbeweglich hält, aber das Walzenrad nun mit umhergedreht wird. Dieses Umdrehen kann jedoch nicht gleichförmig geschehen, weil das Gewicht mit Beschleunigung sinkt. Daher war eine Vorrichtung nöthig, um diese Beschleunigung aufzuhalten und dem Gewichte eine gleichförmige Wirkung zu geben. Dieses leistet der Perpendikel oder Pendel, welcher an dem Steigrade angebracht ist.

Das Walzenrad a (Fig. 196.) greift mit seinen 80 Zähnen in das 10stöckige Getriebe c des Mittelrades d von 60 Zähnen, und dieses wieder in das 8stöckige Getriebe e des 30zähnigen Steigrads gf. Soll daher das Walzenrad in einer Stunde einen Umgang machen, so muß das Steigrad 8 Mal $7\frac{1}{2}$ Mal, d. h. 60 Mal in dieser Zeit umherlaufen, d. h. in einer Minute 1 Mal. Nun befindet sich über dem Steigrade der sogenannte englische Haken, welcher (Fig. 197.) durch MNR in Verbindung mit dem Steigrade Q dargestellt ist, und abwechselnd bald auf dieser, bald auf jener Seite desselben eingreift, und in der Mitte auf einer Metallstange KL befestigt ist; von welcher außerhalb des Werks das metallene Knie lm herabgeht, woran bei m zwischen den Zacken eines gabelförmigen Absatzes das Sekundenpendel festsitzt. Wenn dieses von Sekunde zu Sekunde regelmäßig hin- und herschwingt, so macht der englische Haken ähnliche Schwingungen, und hält jeden Zahn des Steigrades, während eines Umlaufs desselben 2 Mal auf; nämlich beim Heraufsteigen mit dem einen, und beim Herabfallen mit dem andern Haken, folglich in einer Minute 60 Mal, d. h. in jeder Sekunde 1 Mal. Hierdurch wird der Gang dieser Pendeluhr von Sekunde zu Sekunde gleichförmig erhalten, da der langsamere oder schnellere Gang des Werks die Pendelschwingungen verzögern oder beschleunigen würde; welches, wenn der Perpendikel einmal seine gehörige Länge hat, unmöglich ist.

Um ihm diese Länge genau zu geben, kann die Pendelscheibe o durch fein eingeschnittene Schraubengänge mehr erhoben, oder herabbewegt werden, wodurch der Mittelpunkt des Schwunges entweder in die Höhe, oder nach unten rückt.

Da vermöge des Pendels das Steigerad gk in jeder Minute einen Umlauf macht, so kann ein, an dessen über die Zifferplatte hervorragender Achse, angesteckter Zeiger h die Sekunden zeigen. Weil ferner das Walzenrad b in einer Stunde einmal herum kömmt, so kann ein auf ähnliche Art an dessen Achse befindlicher Zeiger v die Minuten andeuten. Um auch die Stunden zu bezeichnen, kann an der Achse des Walzenrades, hinter der Zifferplatte noch ein Rad p mit 30 Zähnen angebracht seyn; welches in das Wechselrad q von eben so viel Zähnen eingreift, dessen sechsstöckiges Getriebe r das Stundenrad s *in einer Zeit von* $\frac{72}{6}$, d. h. von 12 Stunden herumdreht. Dieses umfaßt mit einem Rohre jene Achse der Walze dergestalt, daß es für sich drehbar ist, und enthält den Stundenzeiger w.

Der Erfinder des englischen Hakens soll der englische Uhrmacher William Clement gewesen seyn.

VI. Die Einrichtung des Schlagwerks und der Repetiruhren kann ohne ausführliche Zeichnung und weitläufigere Beschreibung nicht verständlich vorgetragen werden. Daher sehe man Poppe's Lehrbuch der reinen und angewandten Mathematik II. Band Frankfurt a. M. 1815. S. 74 — 100.
G. S. Klügels Encyclopädie. Dritte Aufl. 1807. III. Theil. S. 581 und ff. Auch
Huth's Anfangsgründe der angewandten Mathematik. Halle, 1789., welche Schriften bei Bearbeitung dieses letzten Kapitels benutzt worden sind.

Ein vorzügliches Werk über die Uhren ist:
Essai sur l'horlogerie, par Ferdinand Berthoud. A. Paris, 1763. 2 Vol. 4. mit 38 großen Kupfertafeln. J. F. Vogel hat einen Auszug hieraus in Bezug auf die Taschenuhren zu Meißen 1790

heraus gegeben. Auch sehe man: die Kunst des Großuhrmachers in Sprengel's Handwerken u. Künsten, fortgesetzt von Hartwig. Siebente und achte Sammlung.

VII. Auch gehören hier die Chronometer, oder Längenuhren, Zeithalter, welche man in Taschenchronometer und Seeuhren eintheilt, und deren Zweck die Bestimmung der geographischen Länge entweder auf dem Lande oder zur See ist, hierher. Sie müssen mit dem höchsten Grade von Genauigkeit gearbeitet seyn, und die Zeit mit möglichster Gleichförmigkeit eintheilen. Ihr Erfinder ist Harrison, welcher sich vom gemeinen Zimmermann durch Genie und Fleiß zu einem sehr bedeutenden Künstler ausbildete, und die Belohnung von 2000 Pfund Sterling verdiente, welche das englische Parlament dafür festgesetzt hatte.

VIII. Außer den gewöhnlichen Uhren hat man auch noch Weckuhren, Aequationsuhren, Monduhren, Datumsuhren, Uhren, welche sich von selbst aufziehen, sodann die sogenannten Wegmesser (Hodometer) deren schon Vitruvius im 14. Kap. seines 10. Buchs für einen Wagen und für Schiffe angegeben hatte, die Schrittzähler und mancherlei andere ähnliche Maschinen, welche hier nicht weiter betrachtet werden können.

§. 4.

Einige zu den mechanischen Wissenschaften gehörige Schriften.

1) Wallisii Mechanica. Oxoniae 1669. Fol.
2) De la Hire Traité de Méchanique. A Paris 1695. 8. (20 gr.)
3) Mariotte's Grundlehren der Hydrostatik und Hydraulik. Uebers. v. J. C. Meinig. Leipz. 1723. 8. (10 gr.)
4) Leupold's Theatrum Machinarum oder Schauplatz der mechanischen Wissenschaften. 8 Bände. Leipzig 1724 — 1787. Fol. (40 thlr.)
5) Euleri Mechanica II. Vol. Petrop. 1736. 4to. (6 thlr.)

6) Dan. Bernoulli Hydro-dynamica. Argent. 1738 und 1767. 4to (2 thlr.)
7) Belidori Architectura hydraulica. Augsburg 1740 — 1769. IV. Bände Fol. (28 thlr.)
8) d'Alembert Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides. A Paris 1744. 4.
9) L. Euleri Theoria motus corporum solidorum. Gryphsw. 1790. 4. (4 thlr.)
10) Bossut Traité élementaire de Mécanique et de Dynamique. A Paris 1777. 8. (1 thlr 12 gr.)
11) Büat (von) Grundlehren der Hydraulik. Uebers. v. J. F. Lempe. Leipz. 1796. 8.
12) K. H. Langsdorf's mechanische und hydrodynamische Untersuchungen ꝛc. Altenburg 1782. 4 (2 thlr 12 gr.)
13) G. S. Klügel's Anfangsgründe der praktischen Mechanik ꝛc. Berlin und Stettin 1784. 8.
14) J. Horwath, mechanische Abhandlung, von der Statik und Mechanik der festen Körper, der Hydrostatik, Hydraulik Areostatik und Pneumatik, a. d. Latein. übersetzt v. J. Pasquich. 2 Theile. Pest 1785 u. 1786 8.
15) Bernards neue Grundlehren der Hydraulik, aus dem Franz. übers. v. K. Ch. Langsdorf. Frankfurt u. Leipz. 1790. 8.
16) J. Pasquich's Versuch eines Beitrags zur allgemeinen Theorie von der Bewegung und vortheilhaftesten Einrichtung von den Maschinen Leipzig 1789 8 (12 gr.)
17) J. Kraft's Mechanik, übers. und verbessert von Steingrüber. Dresden 1787. 8.
18. Analytische Mechanik von Lagrange; übers. v. F. W. A. Murhard. Göttingen 1797. 4.
19) J. K. Weinholds Mechanik für Ungelehrte. 2 Theile Dresden 1790 — 1792. 8. (3 thlr. 16 gr.)
20) Prony's neue Architectura Hydraulika; a. d. Französ. übersetzt von Ch. K. Langsdorf. 2 Bände. Frankf. a. M. 1794 — 1800. 4. (12 thlr.)
21) Bossüt, Lehrbegriff der Hydrodynamik, nach Theorie und Erfahrung; a. d. Französ übers. von K. Ch. Langsdorf. 2 Bände. Frankfurt a. M. 1791 — 1799 8.
22) R. Woltmann, Beiträge zur hydraulischen Architectur 4 Bände. Göttingen 1791 — 1799 8
23) K. Ch Langsdorf. Lehrbuch der Hydraulik, mit beständiger Rücksicht auf die Erfahrung. 2 Bände. Altenburg 1794 — 1796. 4 (10 thlr.)
24) G. Vega, Anleitung zur Hydrodynamik. 4 Theile. Wien 1800. 8.
25) J. A. Eytelwein, Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik mit Anwendung auf die Baukunst. Berlin 1801. 8. (3 thlr.)
26) E. Nordvall's Maschinenlehre; a. d. Schwed. übers. v. J. G. L. Blumhof. 2 Thle. Berl. 1804. 4. (10 thlr. 12 gr.)

27) J. J. A. Ide, System der reinen und angewandten Mechanik fester Körper. 2 Theile. Berlin 1802. 8 (3 thlr.)
28) K. Ch. Langsdorf's Grundlehren der mechanischen Wissenschaften. Erlangen 1802. 8. (3 thlr 16 gr.)
29) Ebendess. Handbuch der gemeinen und höhern Mechanik fester und flüssiger Körper mit besonderer Rücksicht auf Hydrotechnik. Heidelberg 1807. 8. (2 thlr. 16 gr.)
30) J. Schulz, Anfangsgründe der reinen Mechanik. Königsberg 1805. 8
31) M. Magolds, Lehrbuch der Mechanik fester Körper. München 1809. 8.
32) J. H. Moritz Poppe, ausführliche Geschichte der Anwendung aller krummen Linien in den mechanischen Künsten und in der Architektur; eine von der philosophischen Fakultät zu Göttingen gekrönte Preisschrift. Nürnb 1802 8.
33) J. H. M. Poppe, die Mechanik des achtzehnten Jahrhunderts und der ersten Jahre des neunzehnten rc.; eine von der Fürstl. Jablonowskyschen Societät der Wissenschaften zu Leipzig gekrönte Preisschrift Hannover u. Pyrmont 1807. 8.
34) Ramelli, Schatzkammer mechanischer Künste. Lpz. 1620. 4.
35) Zeising, Theatrum machinarum. Leipz. 1646. 4. Neueste Ausgabe Leipzig 1708. 4.
36) A. Jungemikeln, Clavis machinarum, d. i. Beschreibung der Bewegungskünste. Nürnberg 1661. 4. (16 gr.)
37) J. A. Böckler, Theatrum machinarum novum, oder neu vermehrter Schauplatz der mechanischen Künste. Nürnberg 1703. Fol. (2 thlr. 12 gr.
38) Machines et Inventions approuvées par l'Acad. roy. des sciences à Paris. VI. Tom. Paris 1735—1777. 4.
39) Joh. van Zyl, Theatrum machinarum universale. Amstelod. 2 Vol 1734. Fol.
40) Theatrum machinarum door T. van der Horst 1. Deel. Amsterdam 1757; 2 Deel. door J. Polly en J. Schenk. Amst. 1774. (9 thlr.)
41) B. F. Mönnich, Anleitung zur Anordnung und Berechnung der gebräuchlichsten Maschinen. Augsburg 1779. 8 (18 gr.). Sulzbach 1805. (1 thlr.)
42) One hunred and six Copperplates of mechanical Machines etc. II. Vol. London 1782. Fol.
43) J. F. Lempe, Lehrbegriff der Maschinenlehre. 2 Theile. Leipzig 1795. 1797. 4. (7 thlr.)
44) K. Ch. Langsdorf, Handbuch der Maschinenlehre für Praktiker und akademische Lehrer. 2 Bände. Altenburg. 1797. 1799. 4.
45) R. Woltmann, theoretische und praktische Untersuchung über die Wirkung der Maschinen Göttingen 1804. 8.
46) J. H. M. Poppe, Encyclopädie des gesammten Maschinenwesens, oder vollständiger Unterricht in der praktischen Mechanik und Maschinenlehre rc. in alphabetischer Ordnung. 6 Bde. Leipzig 1800—1816. 8. (22 thlr. 6 gr.)

47) C. G. Schober, Versuch einer Theorie der Ueberwucht ꝛc. Leipzig 175 . 8. (8 gr.)
48) J. F. Benzenberg, Versuch über das Gesetz des Falls, über den Widerstand der Luft ꝛc. Dortmund 1804. 8.
49) J. H. M. Poppe, über die Lehre der Reibung. Göttingen 1801. 8.
50) C. Brünings, Abhandlung über die Geschwindigkeit des fließenden Wassers ꝛc., aus dem Holländ. übers. v. Krönke. Frankf. a. M. 1798. 4.
51) F. J. Gerstner, Theorie des Wasserstoßes in Schußgerinnen ꝛc. Prag 1795. 4.
52) K. Ch. Langsdorf, Theorie des Krummzapfens ꝛc. Erlangen 1803. 8.
53) H. C. Brodreich, Versuch einer Theorie des Schwungrades und der Kurbel, zweier für die Maschinenlehre sehr wichtiger Gegenstände. Frankf. a. M. 1805. 8. (14 gr.)
54) G. F. Brander's Beschreibung einer neuen hydrostatischen Wage ꝛc. Augsburg 1771. 8.
55) R. Woltmann, Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels, oder eine zuverlässige Methode, die Geschwindigkeit der Winde und strömenden Gewässer zu beobachten. 2 Thle. Hamburg 1790. 1792. 4.
56) G. Ch. Müller's praktische Abhandlung vom Nivelliren oder Wasserwägen ꝛc. Göttingen 1799. 8.
57) J. L. Hogreve, praktische Anweisung zum Nivelliren oder Wasserwägen, nach einer neuen Methode, nebst Beschreibung der Wasserwage. Hannover 1800. 8.
58) B. F. Mönnich, kurze Theorie und Praxis des Nivellirens. Berlin 1800. 8.
59) F. Meinert, Anweisung zum Nivelliren und Profiliren. Halle 1801. 8.
60) K. Scherfer's Abhandlung von der Wasserschraube. Wien 1774. 8. (8 gr.)
61) J. A. Eytelwein's, Beschreibung und Anwendung des Stoßhebers (oder hydraulischen Widders), nebst Versuchen damit. Berlin 1805. 4. (1 thlr. 16 gr.)
62) Abhandlung über die Besserung der Mühlräder. Nürnberg 1795. 8. (14 gr.)
63) Alexander, ausführliche Abhandlung von den Uhren. Uebersetzt von Chr. W. Berger. Lemgo 1763. 8. (1 thlr.)
64) Hoffmann's, J. G., Anleitung zur Verzeichnung der Kämmen des Räderwerks in Mühlen. Königsberg 1802. 8. (8 gr.)
65) Auch, Jac., Anleitung zur Kenntniß und Behandlung der Taschenuhren. Gotha 1807. 8. (1 thlr.)
66) Baader, Joh., Theorie der Saug- und Hebepumpen. Baireuth 1794. (3 thlr.)
67) Dess. neue Vorschläge zur Verbesserung der Wasserkünste. Ebendas. 1800. 4. (3 thlr. 16 gr.)

68) H. A. Behrens praktische Mühlenbaukunst. Schwerin 1797. 4. (2 thlr. 4 gr.)
69) Beschreibung und Abbildung des hydraulischen Widders als beste Bewässerungsmaschine. 2te Aufl. Lpz. 1807. 8. (15 gr.)
70) Brahm, Albr, Anfangsgründe der Wasserbaukunst. Aurich 1767. 4. (13 gr.)
71) Busse, Betrachtung der Winterschmidt- und Höllschen Wassersäulenmaschine. Freyberg 1805 8. (1 thlr. 19 gr.)
72) De la Caille Lectiones mechanicae. Vien. 1759. 4. (18 gr.)
73) C. L. v. Cancrin, praktische Methode, Oelmühlen nach neuer Art zu bauen. Marburg 1798. 8.
74) Heinr. Ernst, Anweisung zum praktischen Mühlenbau. 7 Theile. Leipzig 1802 — 1807. 8. (7 thlr. 8 gr.)
75) Fabre, Versuch über die vortheilhafteste Bauart hydraulischer Maschinen insbesondere der Getreidemühlen.
76) J. G. Geißler, Lehrbegriff der Uhrmacherkunst. 10 Thle. Leipzig 1793 — 99. 4. (10 thlr. 20 gr.)
77) Gilly's und Eytelwein's prakt. Anweisung zur Wasserbaukunst. 4 Thle. Berlin 1805. 4. (15 thlr.)
78) Ph. Fr. Hahn's Beschreibung mechanischer Kunstwerke. 3 Stücke. Stuttg. 1774. 8. (10 gr.)
79) J. G. Hoffmann's Wassermühlenbau. Königsb. 1800. 8. (2 thlr. 8 gr.)
80) J. Chr. Huth's nöthige Kenntnisse zur Anlegung und Berechnung der Wassermühlen. Leipzig 1787. 8. (15 gr.)
81) J. S. Lange's Beschreibung einer neu erfundenen Wassermühle, die keines fließenden Wassers bedarf. Leipz. 1801. 4. (1 thlr. 8 gr.)
82) J. C. Leuch's Beschreibung und Abbildung der hydraulischen Presse, mit Angabe der neuesten Verbesserungen. Nürnberg 1819. 8. (8 gr.)
83) A. J. Lindt, Schauplatz der verbesserten Mühlenbaukunst u. s. w. 2 Bände. München 1819. Fol. (73 thlr.)
84) Martin's englische Uhrmacherkunst. A. d. Engl. von J. H. M. Poppe. 1819. 8. (1 thlr. 4 gr.)
85) Michelott's hydraulische Versuche. A. d. Italien. von Zimmermann. Berlin 1808. 4. (2 thlr. 20 gr.)
86) Poda, Nic., Beschreibung der bey dem Bergbau zu Schemnitz errichteten Maschinen. Prag 1771. 8. (1 thlr. 12 gr.)
87) Dessen Berechnung der von Höll erbauten Luftmaschine zu Schemnitz. Wien 1771.
88) J. H. M. Poppe's theoretisch-praktisches Wörterbuch der Uhrmacherkunst. 2 Bde. Leipz. 1802. 8. (4 thlr.)
89) Dessen ausführliche Geschichte der Uhrmacherkunst. Das. 1801. 8.
90) J. M. Stöckel's praktische Lehre oder Anweisung über den Uhrenbau u. s. w. München 1820. (18 gr.)
91) E. Walter's Architectura hydraulica oder Anleitung zu den Brunnenkünsten. 2 Thle. Augsb. 1765. Fol. (1 thlr. 8 gr.)

92) Georg Winkler's Lehrbuch der angewandten Mathematik (Mechanik, Hydrostatik und Hydraulik), zunächst für Forstwissenschafts-Beflissene. Wien 1821 8 (1 thlr. 16 gr.)
93) Weidleri, I. Fr., Tractatus de Machinis hydraulicis maximis, Marlyensi et Londinensi. Viteb. 1733. 4.
94) J. G. Schöps, Beschreibung einer sich selbst bewegenden Wassermaschine. Wien 1802. 8. (12 gr.)
95) J. N. Müller, Versuch einer systematischen Abhandlung über das Fuhrwesen. Göttingen 1787. 8. (2 thlr.)
96) Gottl. Nordmann, der Krummzapfen ohne Seiten-Abweichung. Leipz. 1812 8. (12 gr.)
97) J. H. M. Poppe, die Wand-, Stand- u. Taschenuhren, ihr Mechanismus rc Frankf. a. M 1818. 12. (1 thlr. 2 gr.)
98) C. Imm. Löscher's Erfindung einer Feuerspritze, die ohne Röhrwerk, ohne Kolben u. Ventile viel Wasser in die Höhe treibt. Leipz. 1792. 4. (18 gr.)
99) Grieser, J. G., genaue Berechnung der größten Wirksamkeit verschiedener Wassermaschinen. Kempten 1819. 8.
100) Nic. Fuß, Versuch einer Theorie des Widerstandes zwei- und vierrädriger Fuhrwerke. Copenh 1798 4. (8 gr.)
101) Deparcieux dissertation sur le moyen d'élever l'eau par la rotation d'une corde verticale sans fin. Amstel. 1792. 8. (8 gr.)
102) J. J. J. Hoffmann, das Gesetz des Glei-gewichts der Kräfte am Hebel; aus der Theorie der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte direkt bewiesen. Paderborn 1806. 8. (12 Gr.)
103) Dessen Lehre von der Zusammensetzung und Auflösung der Kräfte, unabhängig von der Theorie des Hebels auf doppelte Weise streng dargestellt. Aschaffenburg 1814. 4. (9 gr.)
104) Dessen Robervals Wage historisch erläutert u. nach ihren paradox scheinenden Wirkungen streng erwiesen. Aschaffenburg 1816. 4. (9 gr.)
105) Dessen Handbuch der allgemeinen Bewegungslehre, der Statik und Mechanik. Mainz 1823. 8. (1 thlr.)

Druckfehler.

Die Leser werden ersucht, nachfolgende Verbesserungen gehörigen Ortes einzuschalten, wozu es zweckmäßig scheint, das Buch vor dem Einbande planiren zu lassen, damit dieses mit der Feder geschehen kann.

Seite 6 Z. 7 v. u. statt Verlaufs lies Laufs.

— 14 — 2 v. u. st. jene l. seine.

— 29 — 2 v. o. st. von l. an.

— 45 — 17 v. o. st schneller l. ebenfalls.

— 47 — 16 v. o. st. Worven l. Worten.

— 66 — 14 v. o. st. kupferne l. kürzere.

— 66 — 17 v. u. st Thielchen l. Theilchen.

— 66 — 15 v. u. st. (Fig. 5) l. (Taf. XI. Fig. 198.)

— 67 — 10 v. u. st. Pferden l. Pfunden.

— 71 — 19 v. u. st. geschoben l. gehoben.

— 75 — 3 v o. st. Den l. Denn.

— 81 — 2 v. o. st specifischen l. Schweren seyn.

— 81 — 18 v. o. fehlt vorn die Nummer V.

— 81 — 7 v. u st. ihrem l. fest.

— 83 — 12 v. o st. ausüben l. ausdrücken.

— 84 — 3 fehlt vorn die Nummer I.

— 86 — 9 v. o. st. das l. dieser Fehler.

— 89 — 16 v. u. st. müßte l. wüßte.

— — — 7 v. u. st. linienförmiges l. birnförmiges.

— 93 — 1 v. o. st. Hierauf l. Hiernach.

— 108 — 3 v. o. st. B. l. M.

— 108 — 17 v. u. st. kugelförmige l. kegelförmige.

— 109 — 20 v. u st. P. l T.

— 110 — 4 v. o. st. ACB l. AB.

— 120 — 13 v. o. st. Serguerdische l. Sengnerdische.

— 120 — 16 v. o. st. kleines l. kleinen.

— 120 — 11 v. u. st. Heiden: l. Hinden:

— 138 — u. 139 sollte statt V das Zeichen $\surd$ stehen.

— 153 — 21 v. o. st. bringet l. breitet.

— 166 — 17 v. o. st. bewegten l. bewegen.

— 173 — 5 v. u. st. mußt l. mußte.

— 184 — 4 v. o. st. Lehre l. Regel.

S. 184 Z. 14 v. u. st. ungleichförmig l. gleichförmig.
— 191 — 10 v. u. st. CD l. GD.
— 205 — 14 v. o. nach IV. l. haben,
— 207 — 4 v. u. st. hier l. ihr.
— 210 — 5 v. u. st. sie l. eine.
— 211 — 7 v. o. st. von l. vor.
— 217 — 17 v. o. st. M. l. N.
— 226 — 19 v. o. st. MF l. NF.
— 231 — 7 v. o. st. G' l. g'
— 232 — 7 v. o. st. $\sqrt{\frac{R}{r}}$ l. $\sqrt{\frac{R}{x}}$
— 234 — 8 v. u. st. DNM l. BNM.
— 238 — 9 v. o. st. unstetig l. und stetig.
— 245 — 10 v. u. st. Saliläi l. Galilei.
— 264 — 2 v. o st. BA l. BC.
— 264 — 4 v. o. st. 2 l. Q.
— 267 — 18 u. 19 v. u. st. $\frac{2}{3}$ l. $\frac{1}{2}$
— 270 — 9 v. o. st. D l. B.
— 270 — 14 u. 18 v. u. st. AB l. AC.
— 276 — 19 v. u. fehlt vorn V.
— 291 — 7 v. u. st. NK l. AK.
— 295 — 16 v. u. st. EM l. ER.
— 296 — 3 v. u. auch S. 297 Z. 3 v. o. st. ED l. EC.
— 299 — 6 v. o. st OQ l. PQ
— 300 — 5 v. u. st (Fig. 175) l. (Fig. 177.)
— 305 — 11 u. 5 v. u. st. Verrichtungen l. Vorrichtungen.
— 306 — 11 v. o. st. 180 u. 181 l. 182 u. 183.
— 306 — 4 v. u. st. Treibstock l. Triebstock.
— 313 — 1 v. u. st. 184 l. 187.
— 314 — 18 v. u. st. 187 l. 186.
— 349 — 15 v. o. in einigen Exemplaren st. 2000 l. 20000.

Die Verlagshandlung erlaubt sich, auf nachstehende Schriften aufmerksam zu machen.

Aufruf eines praktischen Forstmannes an seine Kameraden und deren Befehlshaber. 1r., 2r. 3r. Abschn. (Griesheim) 1 thlr.
Beyer's, A., gründlicher Unterricht vom Bergbau nach Anleitung der Markscheidekunst, durchgängig vermehrt, verbessert und umgearbeitet von J. F. Lempe. Mit Kpfrn. gr. 4. 7 thlr. 8 gr.
Cavallo's, Tib., ausführliches Handbuch der Experimentalnaturlehre in ihren reinen und angewandten Theilen. Aus dem Engl. mit Anmerkungen von Dr. J. B. Trommsdorff. 4 Bde. Mit Kupfern. gr. 8. 7 thlr. 8 gr.
— leicht faßliche Darstellung der Lehre der Elektrizität, des Galvanismus und des Magnetismus. Aus dem Engl. der neuesten Auflage mit Anmerkungen übersetzt von D. Joh. Barth. Trommsdorff. (Aus Cavallo's Handbuch der Naturlehre besonders abgedruckt). Mit Kpfrn. 8. 1 thlr. 4 gr.
Döbereiners Chemie. 3 Thle. 12. 4 thlr. 14 gr.
Dumeril, Dr. A. M. C., allgemeine Naturgeschichte. Zum Gebrauch für die französischen Schulen, auf Befehl der Regierung entworfen, und für deutsche Schulen, Lehrer, Erzieher, bearbeitet von einer Gesellschaft Gelehrten. gr. 8. 1 thlr. 16 gr.
Ehrmanns, Th. Fr., allgemeines historisch-statistisch-geographisches Handlungs-, Post- und Zeitungslexikon für Geschäftsmänner, Handelsleute, Reisende und Zeitungsleser, enthaltend in alphabetischer Ordnung eine genaue planmäßig, vollständig historische, statistische und topographische Beschreibung aller Erdtheile, Länder, Staaten, Inseln, Bezirke, Gebiete, Herrschaften, Völker, Meere, Seen, Flüsse, Wälder, Berge, Städte, Festungen, Schlösser, Stifter, Seehäfen, Handelsplätze, Fabriköter, Gesundbrunnen und Bäder, Poststationen, Flecken, und überhaupt aller in irgend einer Hinsicht bemerkenswerthen Ortschaften und Gegenden der Erde, mit Anzeige ihrer Lage, Entfernung, Herrschaft, vormaligen und jetzigen Beschaffenheit und aller ihrer Natur- und Kunstmerkwürdigkeiten, von einer Gesellschaft kundiger Männer größtentheils aus handschriftlichen Nachrichten gesammelt. 3 Bände. Mit Ländertafeln. gr. 4. 10 thlr. 12 gr.
— dessen 4ten Bandes 1te Abthl. 1 thlr. 12 gr.
Gerstenberg, J. L. J. von, Entwurf, die Feuerspritzen mittelst einer mechanischen Vorrichtung vor dem Einfrieren zu sichern, nebst einigen Löschanstalten überhaupt, vorzüglich aber bei Brandfällen im Winter. Mit 3 Kpfrn. gr. 8. 18 gr.
Göttling, J. F. A., Elementarbuch der chemischen Experimentarkunst. 1r., 2r. Thl. 2 thlr. 8 gr.
Günther, J. A., die Teich- und Fischerei-Wirthschaft, oder gründliche Anweisung, Fischteiche anzulegen und die Fischerei mit Nutzen zu betreiben. 8. 16 gr.
Henry, Dr. W., Chemie für Dilettanten, oder Anweisung, die wichtigsten chemischen Versetzungen ohne große Kosten und ohne weit-

läuftige Apparate anzustellen. Nebst einer Anleitung zur Untersuchung der Mineralwässer, der Mineralien, der Gifte, der pharmaceutisch-chemischen Präparate und dem Gebrauch chemischer Prüfungsmittel zum Nutzen der Pächter und Landbesitzer, so wie zu verschiedenen nützlichen Zwecken. Aus dem Englischen nach der zweiten Originalausgabe übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Dr. J. B. Trommsdorff. 2te umgearbeitete Auflage. gr. 8. 1 thlr.

Juch, D. C. W., Ideen zu einer Zoochemie, systematisch dargestellt; mit Zusätzen und einer Vorrede versehen von Dr. J. B. Trommsdorf. 1r. Thl. (welcher die Betrachtung der imponderabeln Materien enthält). gr. 8. 1 thlr.

Langsdorff's, C. C., vollständige, auf Theorie und Erfahrung gegründete Anleitung zur Salzwerkskunde. 5 Thle. 3. Mit Kupfern. 8 thlr. 12 gr.

Langsdorff, G. G., Entwurf der Vorlesungen über mehrere, den Kameralisten und Technologen wichtige Gegenstände. gr. 8. 20 gr.

Lehmann's Lehrgebäude der Schönschreibekunst mit 74 Blättern Kupfer. 4 thlr.

— kalligraphische in Kupfer gestochene Vorlegeblätter, zur leichtern und schnellern Erlernung der engl. Geschäftshand. 1r. Lehrkursus, für den Schul- und Privat-, auch Selbstunterricht. 20 gr.

— dessen 2ter und letzter Kursus. Deutsche Nationalschrift. 20 gr.

— dessen praktischer Theil, enthält 18 Erläuterungstafeln im Quart- und Folioformate, nebst dessen hierzu bearbeitetem Texte, 30 Bogen stark. 1 thlr. 8 gr.

Lempe, Chr. Fr., Erläuterung der Kästnerischen Anfangsgründe der Mathematik, mit einer Vorrede des Herrn Professor Hindenburg. 3 Bde. Mit Kpfrn. 8. 3 thlr.

Parkes, S., Chemie für Künstler, Fabrikanten und Handwerker, nach der 18ten englischen Ausgabe übersetzt. Mit Kupfern. gr. 8. 1 thlr. 18 gr.

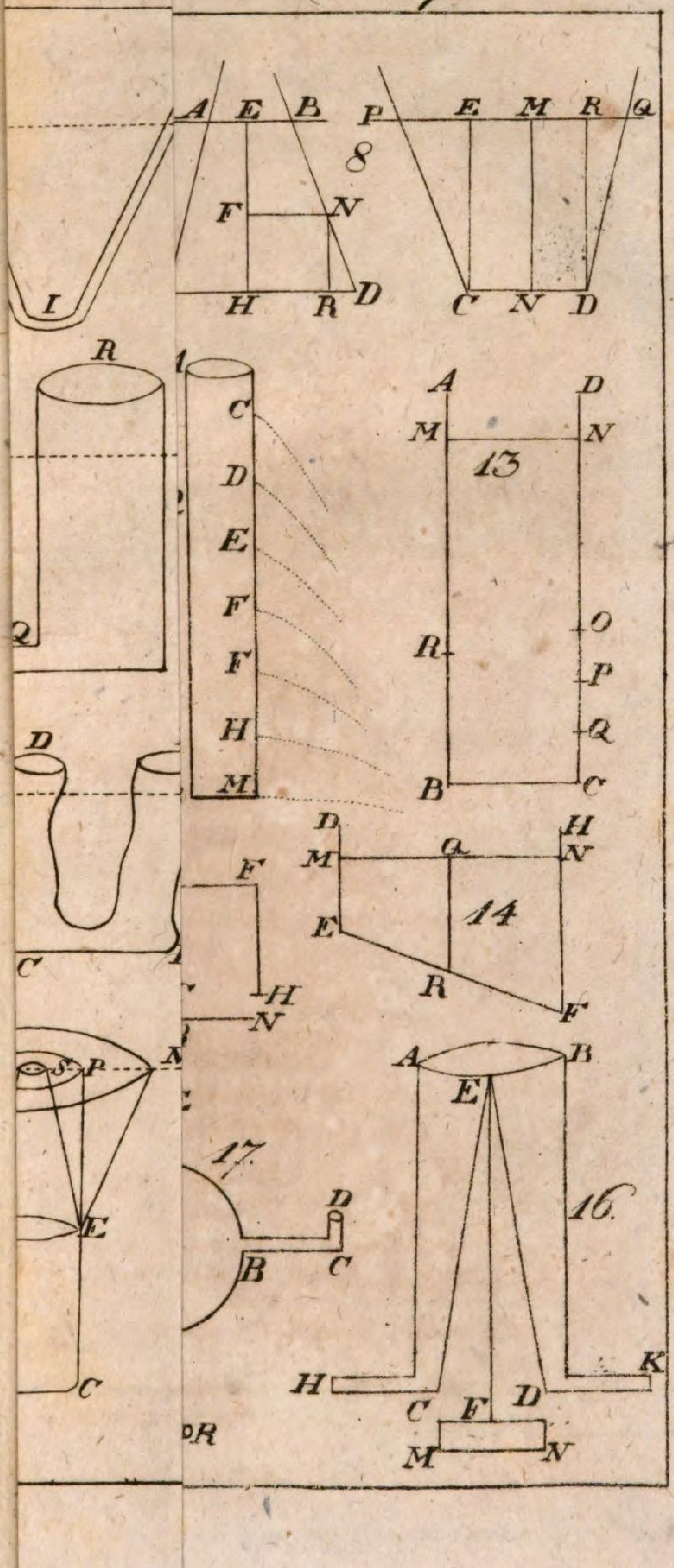
Sickler, J. V., Trommsdorff, J. B. und Weise, J. C., ökonomisch-technologisches Wörterbuch, oder Unterricht in der Oekonomie, in der ökonomischen Technologie und in der ökonomischen Baukunst, nach alphabetischer Ordnung. Ein Handbuch für Gutsbesitzer, Landwirthe und Freunde der landwirthschaftlichen Kultur. 1r Bd. Mit Kupfern. gr. 8. 4 thlr.

Swinden, J. H. von, Anfangsgründe der Meßkunde. Aus dem Holländischen übersetzt von C. F. Gaab. gr. 8. 2 thlr.

Trommsdorff, Dr. J. B., systematisches Handbuch der gesammten Chemie zur Erleichterung des Selbststudiums dieser Wissenschaft. Neue umgearbeitete Auflage. 8 Bde. gr. 8. 18 thlr. 12 gr.

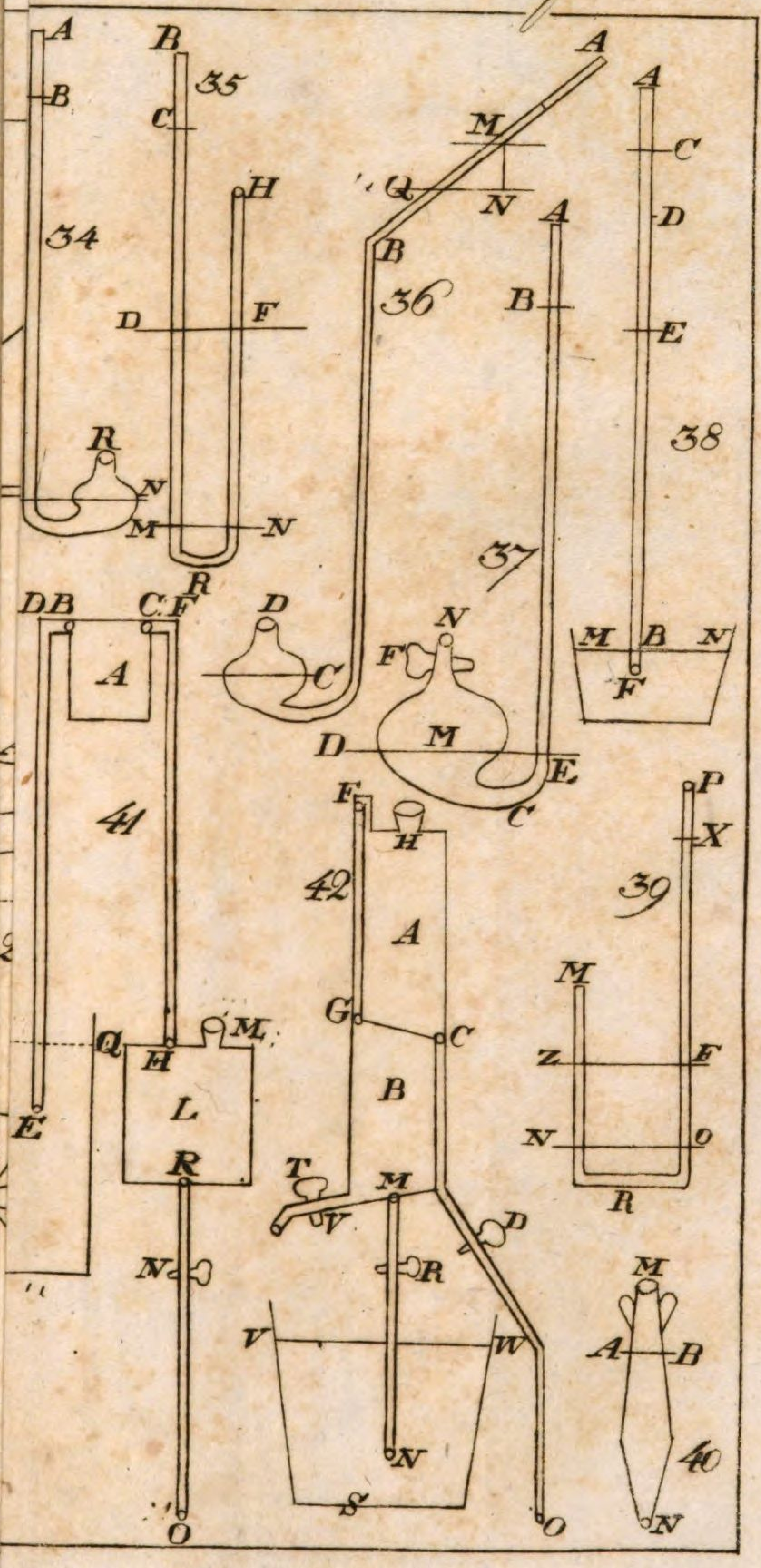
— Lehrbuch der Physik, nach den neuesten Entdeckungen, als Vorbereitung zum Studium der Chemie. Mit Kpfrn. gr. 8. 1 thlr. 8 gr.

Tafel I.

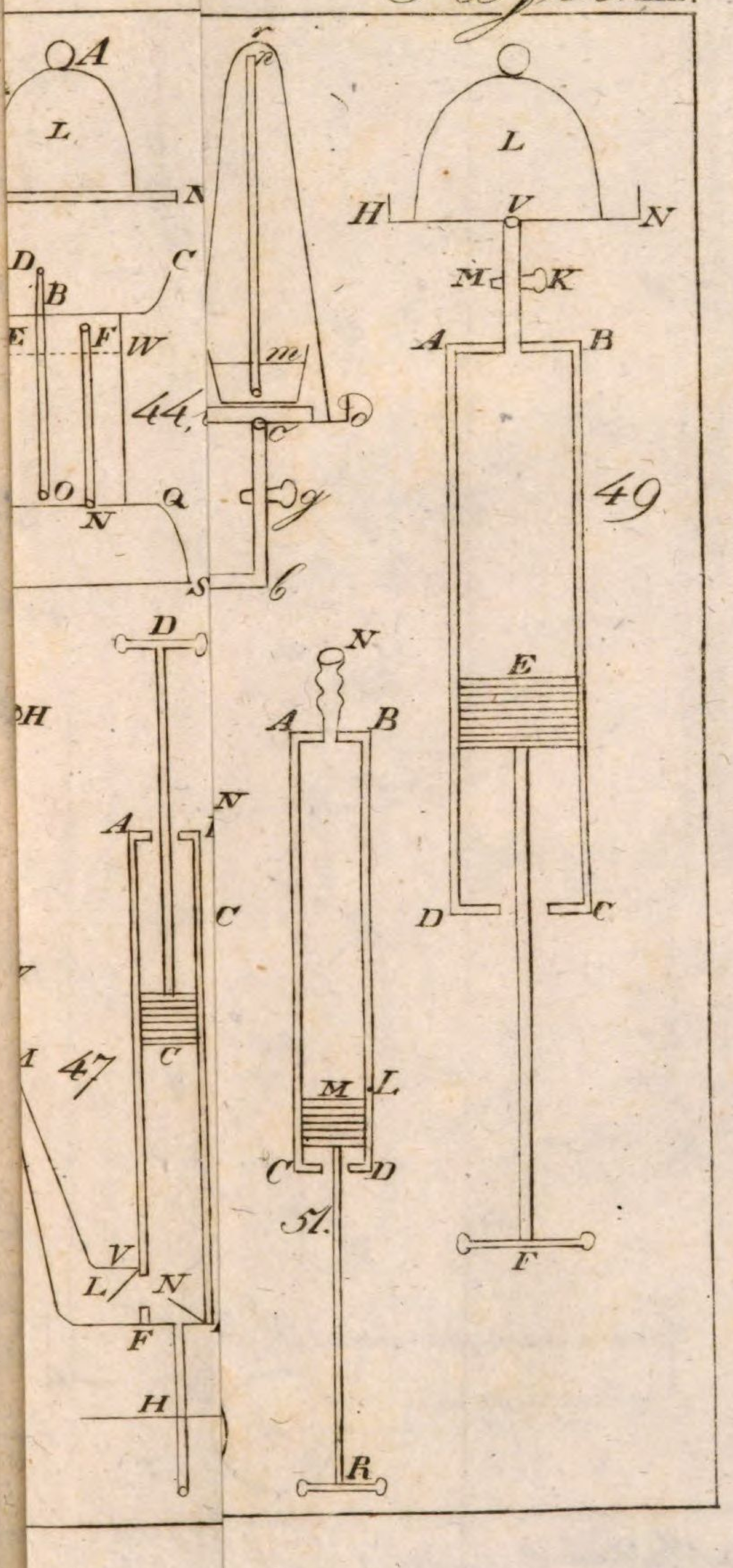


A E B P E M R Q
8
F N
H R D C N D
R
C D E F F H M
A D M N
13
R O P Q
B C
D H M Q N
14
E R F
F H N
A B E
17
D B C
16
H K C F D M N
C R

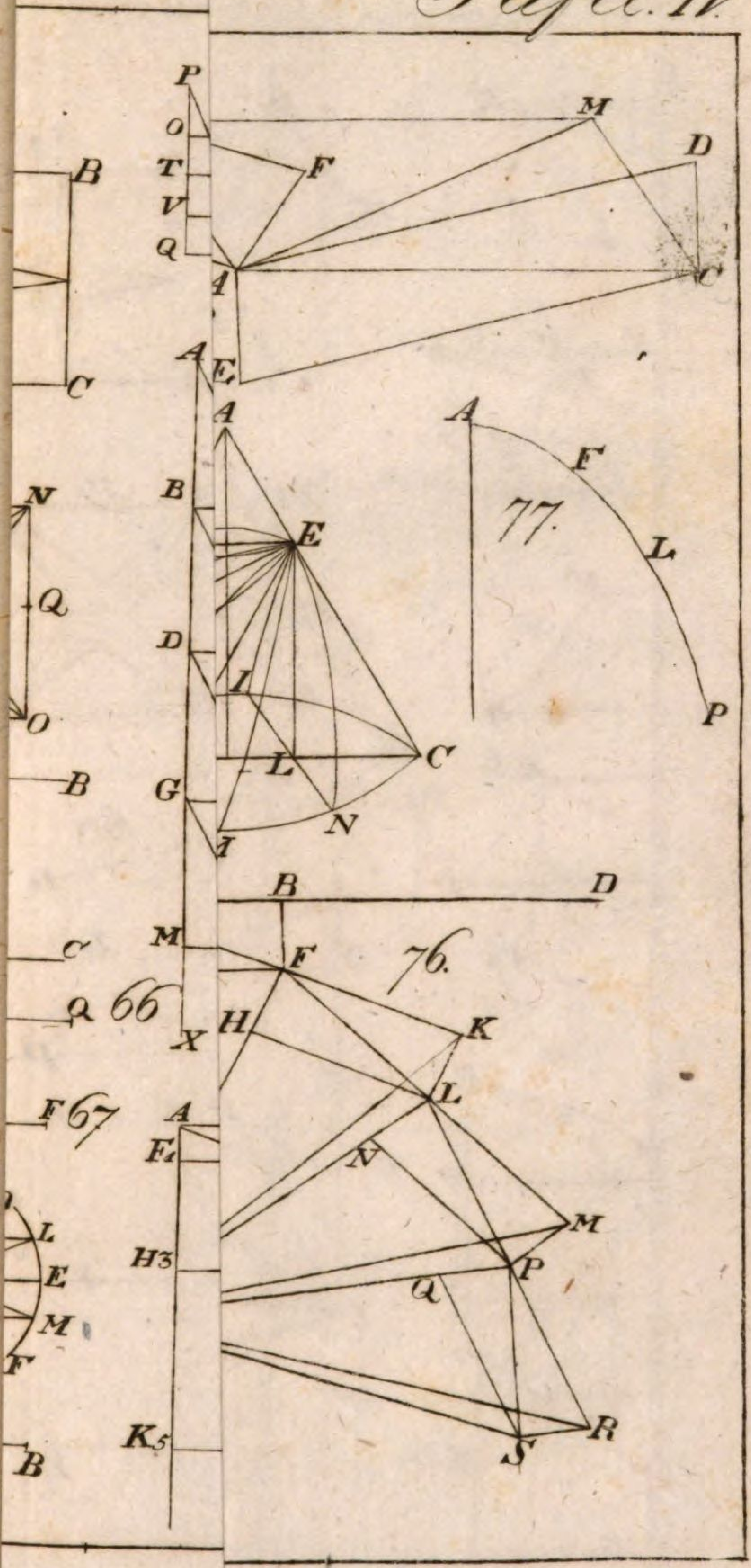
Tafel II.



Tafel. III.

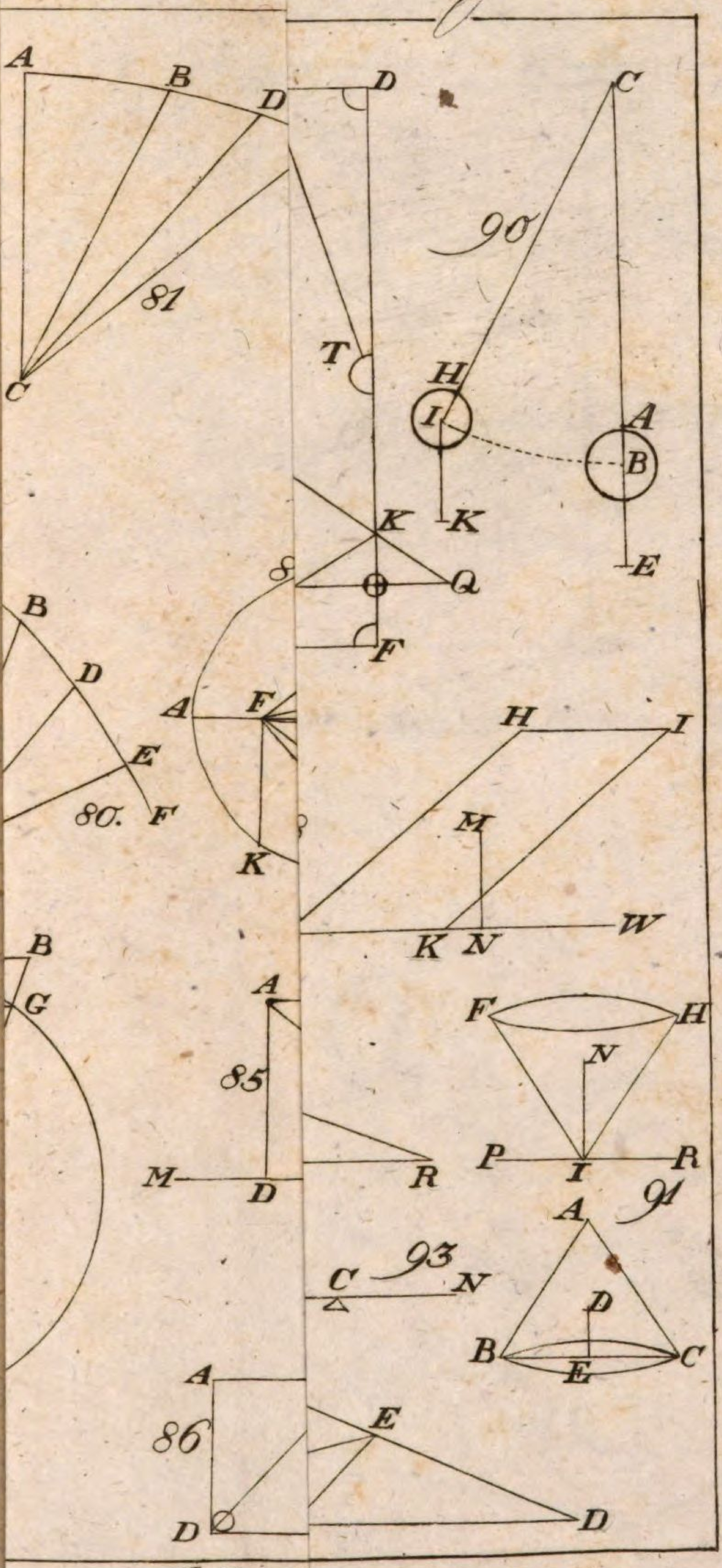


Tafel. IV.



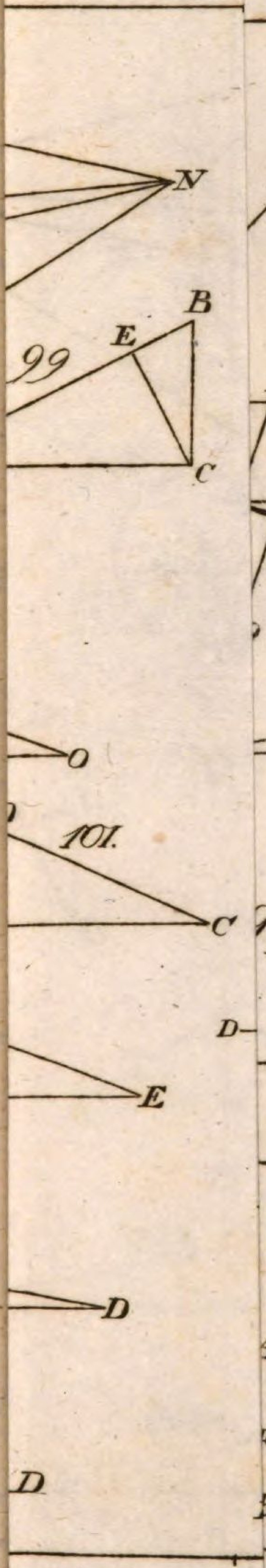
zu Hoff

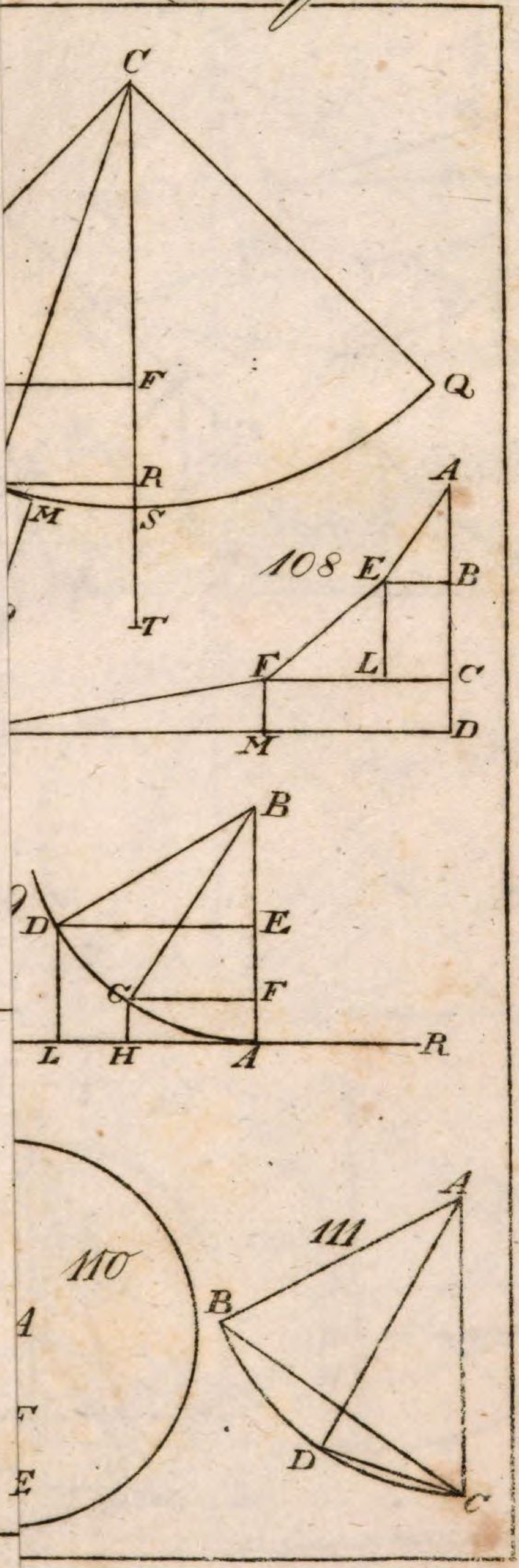
Tafel. V.

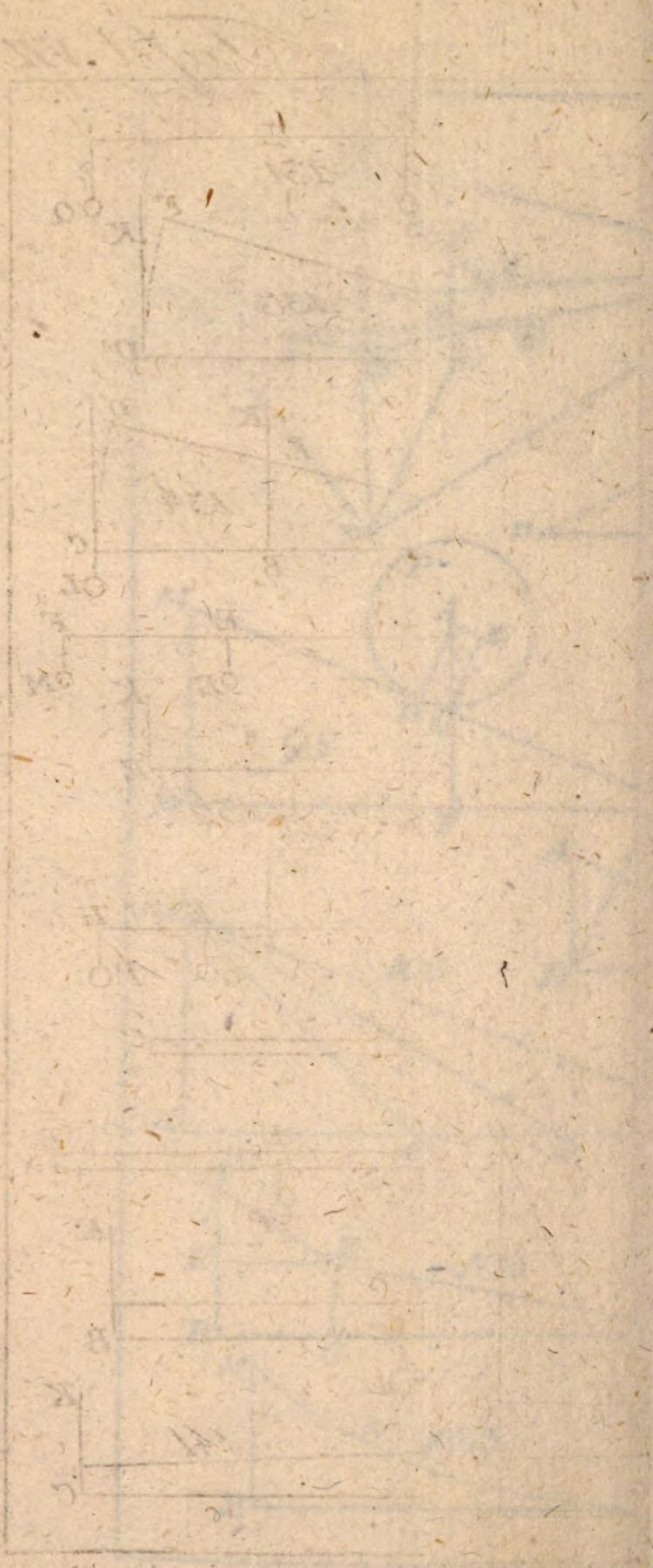


zu Hoff

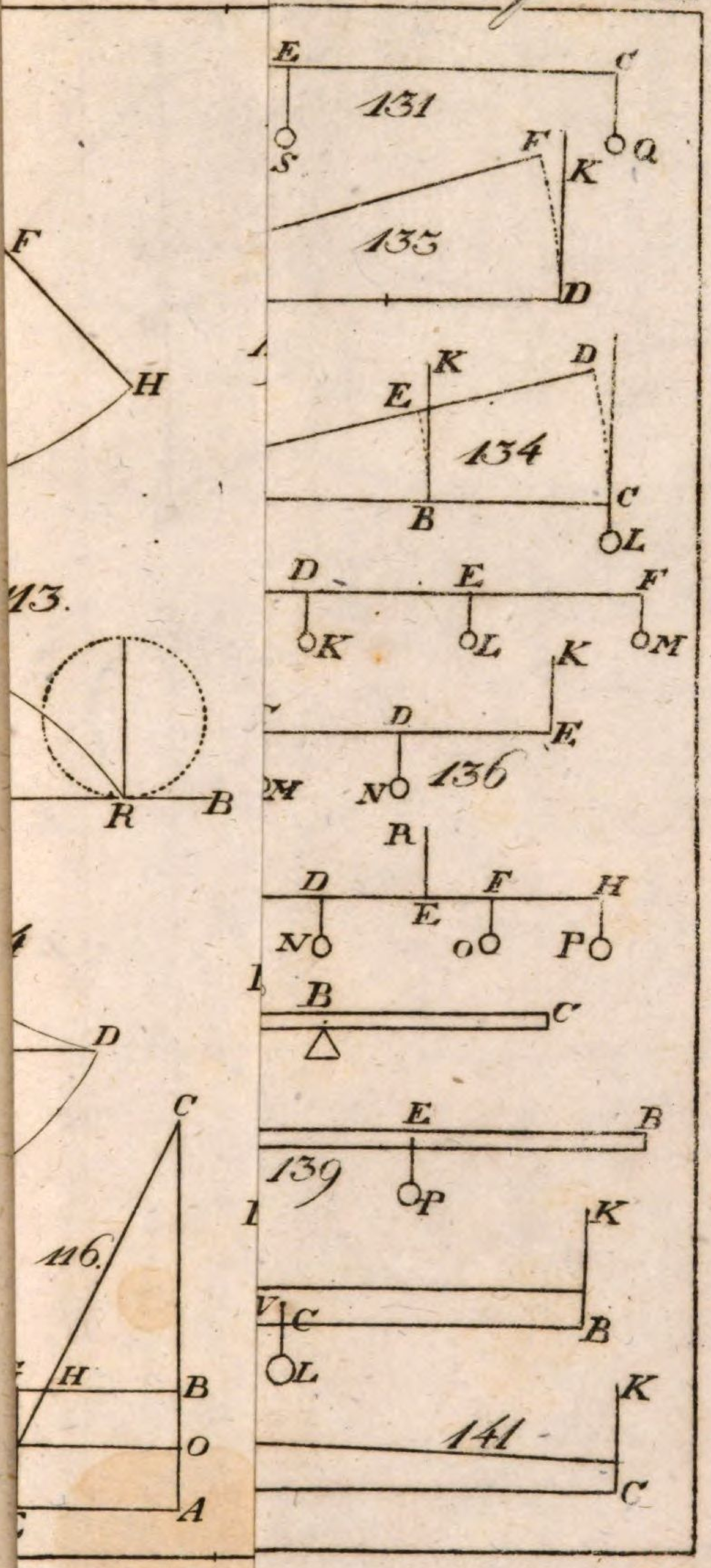
Tafel VI.


N
B
E
99
C
O
101.
C
D
E
D
D


C
F
Q
R
M
S
T
108
A
E
B
L
F
C
M
D
B
D
E
C
F
L
H
A
R
110
111
A
B
D
C



Tafel VII.



zu

Tafel VIII.

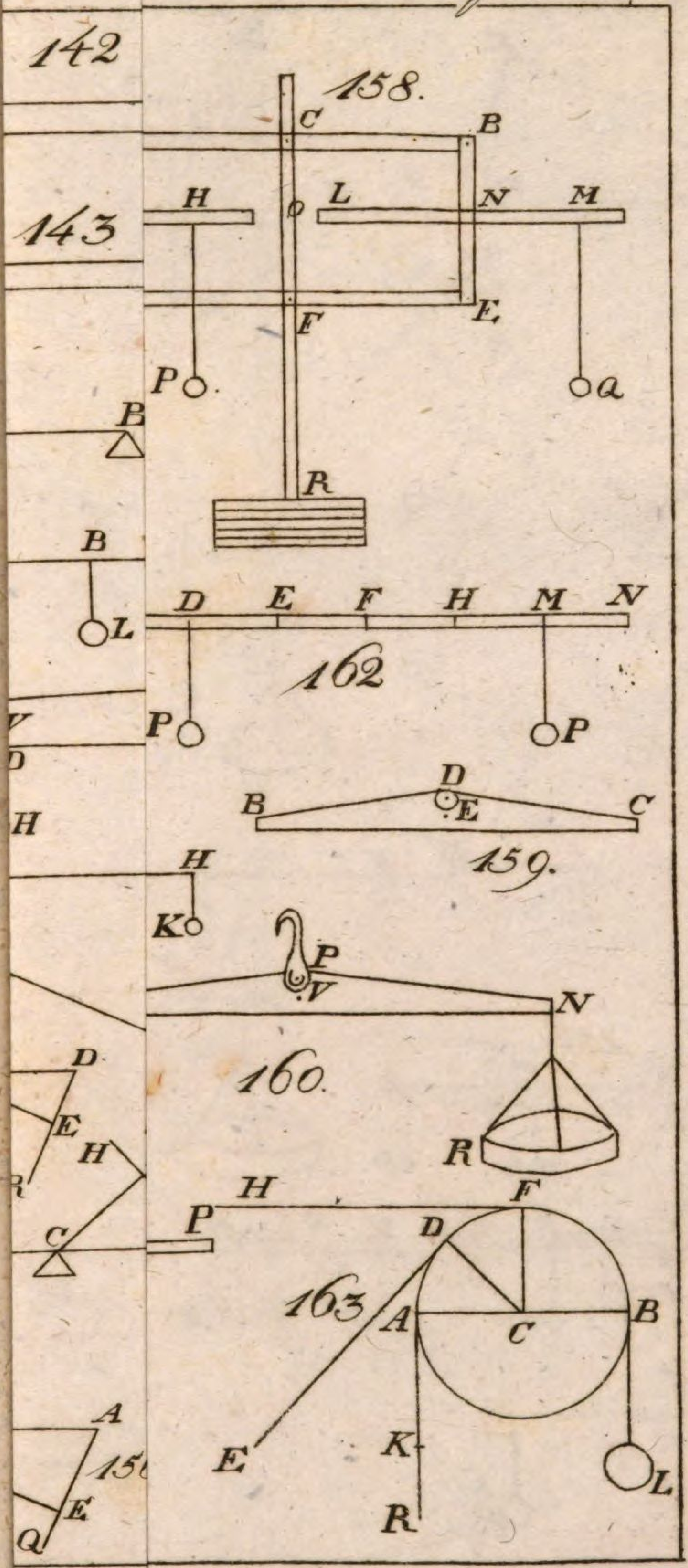
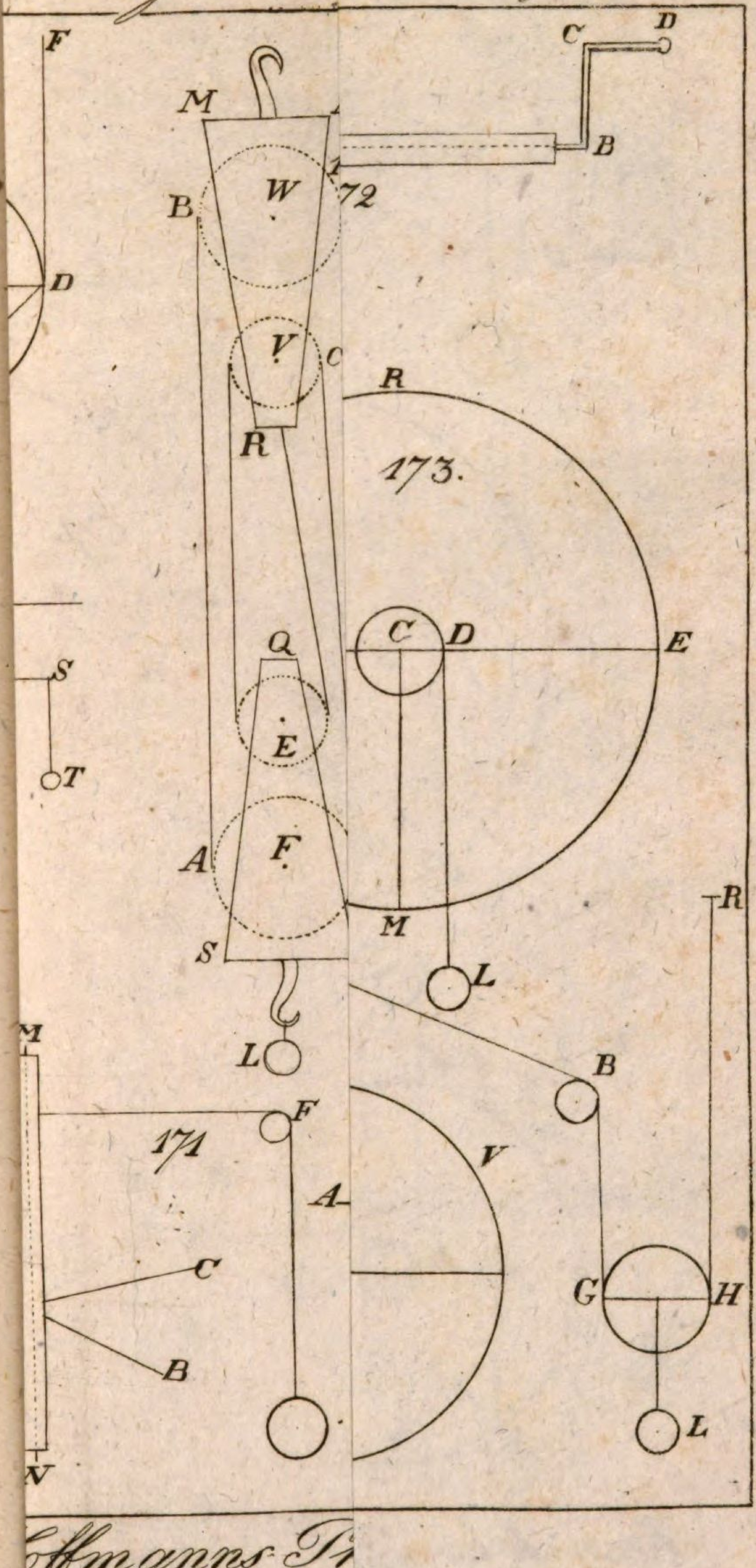


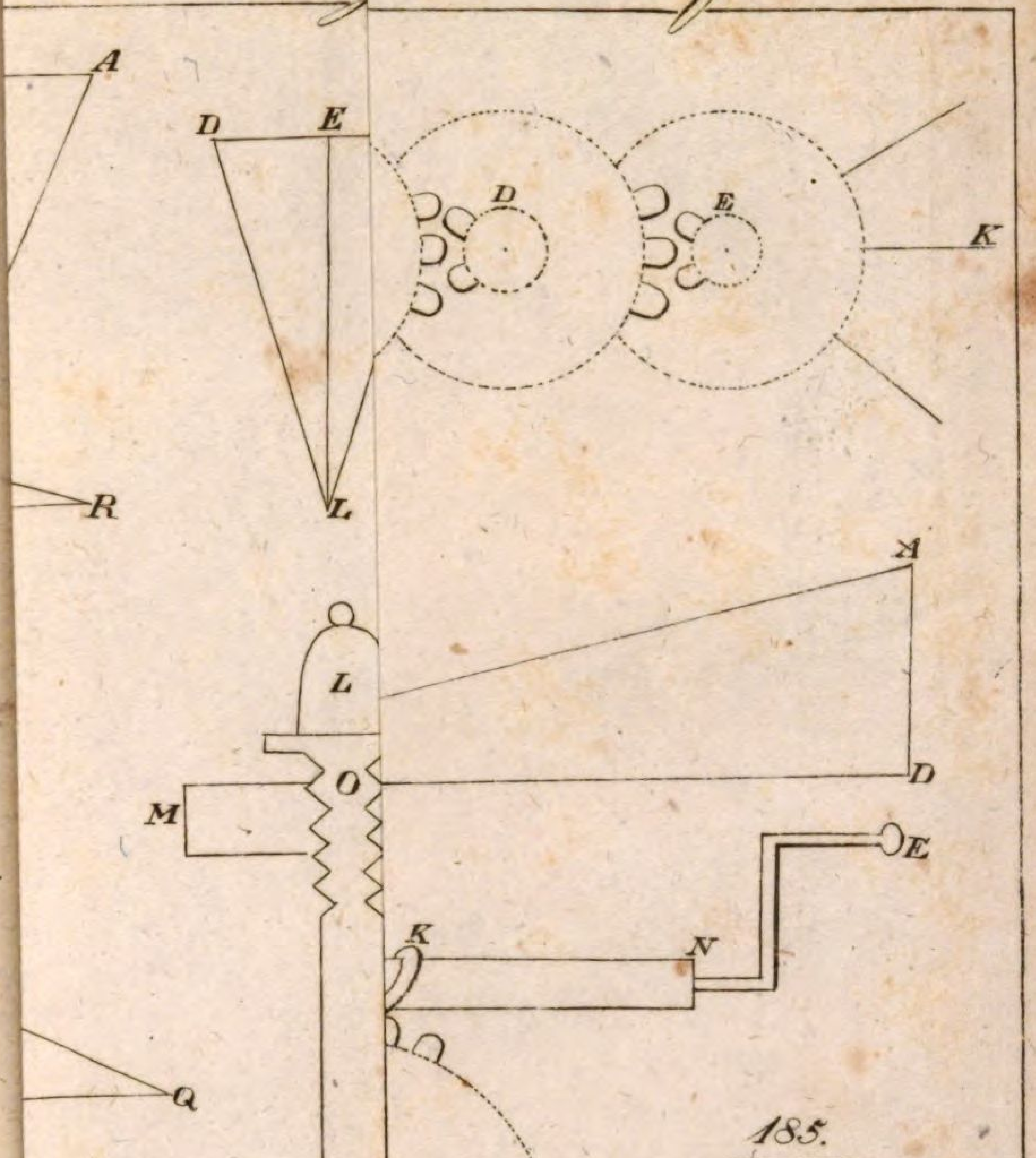
Fig 164. Tafel IX.



ffmanns Ph

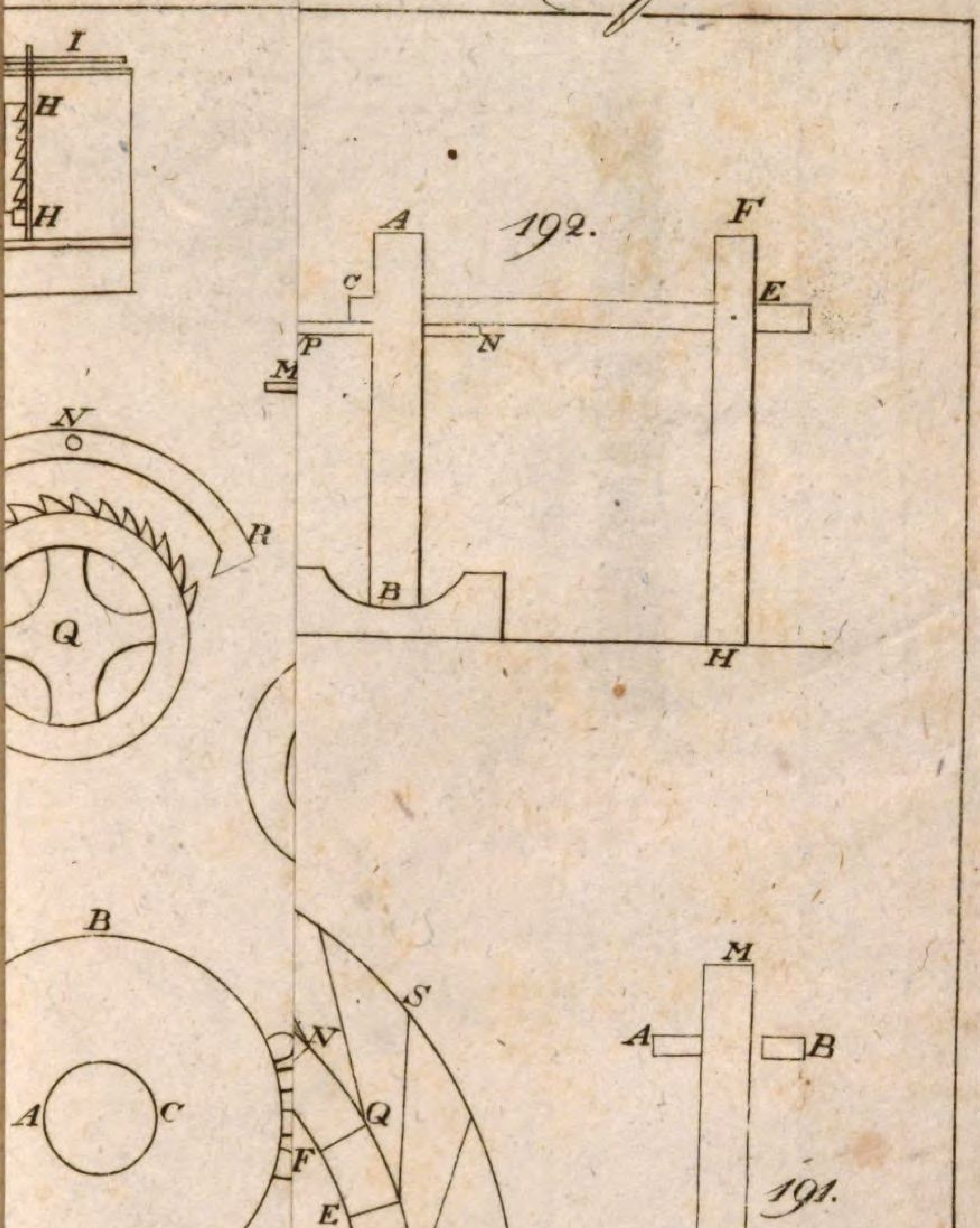
Fi

Tafel X.



zu Hoffm

Tafel XI.



zu Ho

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Hoffmann, Johann Josef Ignaz <<von>>,

Physik und Mechanik

Bd.: 1

Erfurt u.a. (1824)

Oecon. 632 h-8,1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10295235-0